



ANA LUIZA PEREIRA FERREIRA

**TOLERÂNCIA DE GERGELIM (*Sesamum indicum*),
CARINATA (*Brassica carinata*) E MOSTARDA-INDIANA
(*Brassica juncea*) A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ E
PÓS-EMERGÊNCIA**

**LAVRAS – MG
2026**

ANA LUIZA PEREIRA FERREIRA

**TOLERÂNCIA DE GERGELIM (*Sesamum indicum*), CARINATA (*Brassica carinata*)
E MOSTARDA-INDIANA (*Brassica juncea*) A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ E
PÓS-EMERGÊNCIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel
Orientador

Prof.^a Dr. Christiane Augusta Diniz Melo
Coorientadora

LAVRAS – MG
2026

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ferreira, Ana Luiza Pereira.

Tolerância da carinata (*Brassica carinata* A. Braun), da mostarda-indiana (*Brassica juncea* (L.) Czern.) e do gergelim (*Sesamum indicum* L.) a herbicidas aplicados em pré e pós-emergência. / Ana Luiza Pereira Ferreira. - 2026.
103 p.

Orientador: Guilherme Vieira Pimentel

Coorientadora: Christiane Augusta Diniz Melo

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Oleginosas. 2. Controle químico. 3. Curva de dose-resposta. I. Pimentel, Guilherme Vieira. II. Melo, Christiane Augusta Diniz. III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

ANA LUIZA PEREIRA FERREIRA

**TOLERÂNCIA DE GERGELIM (*Sesamum indicum*), CARINATA (*Brassica carinata*)
E MOSTARDA-INDIANA (*Brassica juncea*) A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ E
PÓS-EMERGÊNCIA**

**TOLERANCE OF SESAME (*Sesamum indicum*), CARINATA (*Brassica carinata*), AND
INDIAN MUSTARD (*Brassica juncea*) TO HERBICIDES APPLIED IN PRE- AND POST-
EMERGENCE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de agosto de 2026.

Dr. RENAN RICARDO ZANDON EXACTA

Dra. LARYSSA BARBOSA XAVIER DA SILVA UFV

Documento assinado digitalmente
 **GUILHERME VIEIRA PIMENTEL**
Data: 05/10/2026 10:18:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel
Orientador

Prof.^a Dr. Christiane Augusta Diniz Melo
Coorientadora

LAVRAS – MG
2026

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço pela oportunidade de ter vivido o mestrado, por ter me colocado nesse caminho e por ter sido minha base durante toda essa caminhada. Obrigada por me sustentar nos momentos difíceis, guiar meus passos e me permitir chegar até aqui. Esta conquista começa em Ti.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Agricultura (DAG) e à área de Fitotecnia, pela oportunidade, estrutura e suporte necessários à realização deste mestrado e desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pelo financiamento da bolsa durante parte da minha formação. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento da bolsa durante a etapa final do mestrado, fundamental para a continuidade da minha formação.

Às empresas Advanta e Nufarm e à Embrapa Algodão, pelo fornecimento das sementes utilizadas nos experimentos desta dissertação.

Ao Grupo Agroenergia, pela convivência, pelos ensinamentos e pelas experiências compartilhadas ao longo dessa etapa.

Ao meu orientador, Professor Guilherme, por toda dedicação, presença e ensinamentos. Admiro muito sua competência e o empenho que coloca em suas pesquisas. Sou muito grata por tudo que aprendi ao longo dessa caminhada e por ter tido a oportunidade de ser sua orientanda.

À minha coorientadora, Professora Christiane, por toda ajuda, disponibilidade e ensinamentos. Tenho grande admiração pela profissional que é, pela sua competência e postura, e espero um dia construir uma trajetória profissional que tenha um pouco daquilo que tanto admiro em você.

Aos meus pais, Luiz Antônio e Maria Doroteia, por todo amor, apoio e confiança. Obrigada por acreditarem em mim e apoiarem minhas escolhas, mesmo quando nem sempre conseguem compreender o caminho que estou trilhando. Vocês são minha base e fazem parte de todas as minhas conquistas.

Ao meu namorado, Rodrigo, por se fazer presente mesmo em meio à distância. Foram três estados em dois anos, mas você sempre encontrou uma forma de estar perto. Obrigada por

ser uma das pessoas que mais me incentiva e acredita em mim. Ter você ao meu lado tornou essa caminhada muito mais leve.

À Nathalia, minha companheira desde o segundo dia de mestrado, por ter se tornado uma amiga para todas as horas. Obrigada por dividir comigo essa caminhada, pelos momentos bons e difíceis, pelas conversas e por todas as risadas. Seu jeito único fez toda a diferença nesses dois anos e sou muito grata por ter encontrado você nesse caminho.

Aos meus amigos Natalia Costa, Lilian, Amanda, Carol, Camille, Daniela, Daniel, Luiz Daniel e Emily, por fazerem parte dessa caminhada. Cada um chegou à minha vida em momentos e de maneiras diferentes, mas todos contribuíram para tornar esses dois anos mais leves e especiais. Obrigada pelas conversas, pelos cafés, pelas risadas, pela companhia, pelas ajudas e por todas as memórias que construímos. Levo comigo um pouco de cada um dessa etapa.

Aos professores, técnicos e demais profissionais do Departamento de Agricultura, por todos os ensinamentos, auxílio e contribuição para minha formação e para a realização deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui, minha sincera gratidão. O mestrado foi mais do que uma etapa acadêmica: foi um período de aprendizado, amadurecimento, desafios e encontros. Levo comigo os conhecimentos adquiridos, as experiências vividas e, principalmente, as pessoas que tornaram essa caminhada mais especial.

Hoje encerro uma etapa, mas levo comigo tudo aquilo que ela me ensinou, as pessoas que encontrei pelo caminho e a certeza de que nenhum sonho se constrói sozinho.

RESUMO

A diversificação de matérias-primas para fins alimentícios, industriais e de biocombustíveis tem ampliado o interesse por oleaginosas como a carinata, a mostarda-indiana e o gergelim, cujas informações sobre tolerância a herbicidas ainda são escassas. Dessa forma, objetivou-se avaliar a tolerância dessas três espécies a herbicidas aplicados em pré e pós-emergência, bem como a influência das condições de solo e das doses sobre a resposta das culturas. A dissertação foi composta por três artigos, um para cada espécie. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, com quatro repetições. Nos experimentos com herbicidas em pré-emergência, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 2×5 (duas condições de solo $\times$ cinco doses), avaliando-se isoladamente os herbicidas clomazona, quinclorac e fluroxipir-metílico em duas condições de solo. Em pós-emergência, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco doses, avaliando-se isoladamente os herbicidas dicamba, quinclorac, halauxifeno-metílico, florpirauxifeno-benzílico e fluroxipir-metílico. A tolerância foi avaliada por meio da fitotoxicidade visual, altura de plantas, massa seca da parte aérea, doses efetivas para reduzir em 10 % e 20 % as variáveis avaliadas e pelo Índice de Tolerância Médio (ITM). Os experimentos foram repetidos em duas épocas experimentais. Na carinata, o quinclorac apresentou resposta associada às maiores doses efetivas estimadas para redução de 10 % da resposta da cultura, com 43,00 g i.a. ha⁻¹ em pré-emergência, independentemente da condição de solo, e 59,83 g i.a. ha⁻¹ em pós-emergência. Na mostarda-indiana, o quinclorac apresentou ED₁₀ de 32,96 g i.a. ha⁻¹ em pré-emergência, independentemente da condição de solo, enquanto, em pós-emergência, não foi observada redução de crescimento suficiente para estimar a ED₁₀ pelo ITM para o halauxifeno-metílico. No gergelim, o fluroxipir-metílico apresentou ED₁₀ de 18,79 g e.a. ha⁻¹ em pré-emergência e 22,70 g e.a. ha⁻¹ em pós-emergência. A resposta ao fluroxipir-metílico diferiu entre as espécies e entre as modalidades de aplicação, enquanto o quinclorac apresentou respostas distintas entre o gergelim e as espécies de brássicas avaliadas. Em conjunto, os resultados mostram que a tolerância dessas oleaginosas depende do ingrediente ativo, da dose e da modalidade de aplicação. A tolerância de uma mesma espécie a um mesmo herbicida pode variar conforme a modalidade de aplicação, pré ou pós-emergência. O mecanismo de ação compartilhado entre herbicidas não é suficiente para prever a tolerância das culturas. Esses resultados fornecem subsídios para a seleção de ingredientes ativos prioritários para validação em campo e para o desenvolvimento de estratégias de controle químico mais seguras para essas culturas.

Palavras-chave: Oleaginosas; Controle químico; Curva de dose-resposta; Auxínicos; Índice de tolerância médio.

ABSTRACT

The diversification of feedstocks for food, industrial, and biofuel purposes has increased interest in oilseed crops such as carinata, Indian mustard, and sesame, for which information on herbicide tolerance remains scarce. Therefore, this study aimed to evaluate the tolerance of these three species to herbicides applied pre- and post-emergence, as well as the influence of soil conditions and herbicide rates on crop response. The dissertation comprised three articles, one for each species. The experiments were conducted under greenhouse conditions, with four replications. In the pre-emergence experiments, a randomized complete block design (RCBD) was used in a 2×5 factorial arrangement (two soil conditions $\times$ five herbicide rates), with clomazone, quinclorac, and fluroxypyr-methyl evaluated individually under two soil conditions. In post-emergence, a completely randomized design (CRD) with five herbicide rates was used to individually evaluate dicamba, quinclorac, halauxifen-methyl, florasulam, and fluroxypyr-methyl. Tolerance was assessed based on visual crop injury, plant height, shoot dry mass, effective doses required to reduce the evaluated variables by 10% and 20%, and the Mean Tolerance Index (MTI). The experiments were repeated in two experimental periods. In carinata, quinclorac showed response associated with the highest effective doses estimated to cause a 10% reduction in crop response, with 43.00 g a.i. ha⁻¹ in pre-emergence, regardless of soil condition, and 59.83 g a.i. ha⁻¹ in post-emergence. In Indian mustard, quinclorac had an ED₁₀ of 32.96 g a.i. ha⁻¹ in pre-emergence, regardless of soil condition, whereas in post-emergence, no sufficient growth reduction was observed to estimate the ED₁₀ by the MTI for halauxifen-methyl. In sesame, fluroxypyr-methyl had an ED₁₀ of 18.79 g a.e. ha⁻¹ in pre-emergence and 22.70 g a.e. ha⁻¹ in post-emergence. The response to fluroxypyr-methyl differed among species and between application methods, whereas quinclorac showed distinct responses between sesame and the brassica species evaluated. Overall, the results demonstrate that tolerance of these oilseed crops depends on the active ingredient, herbicide rate, and application method. The tolerance of the same species to the same herbicide may vary according to the application method, whether pre- or post-emergence. A shared mechanism of action among herbicides is not sufficient to predict crop tolerance. These results provide a basis for prioritizing active ingredients for field validation and for developing safer chemical weed management strategies for these crops.

Keywords: Oilseed crops; Chemical weed control; Dose-response curve; Auxin herbicides; Mean Tolerance Index.

INDICADORES DE IMPACTO

A mostarda-indiana (*Brassica juncea* (L.) Czern.), a carinata (*Brassica carinata* A. Braun) e o gergelim (*Sesamum indicum* L.) são oleaginosas de grande importância para a diversificação dos sistemas agrícolas brasileiros. Essas espécies possuem alto potencial para a inserção em cadeias agroindustriais voltadas à bioenergia e à produção de óleos vegetais. Além da expressiva relevância econômica, essas culturas apresentam aptidão para a integração em sistemas de rotação, contribuindo de forma direta no fortalecimento da sustentabilidade e na diversificação dos sistemas produtivos. No entanto, a escassez de herbicidas registrados e a carência de informações técnicas sobre o manejo de plantas daninhas ainda configuram os principais gargalos limitantes para a expansão comercial e a consolidação dessas espécies no cenário agrícola brasileiro. Nesse contexto, este trabalho contribui para a geração de informações sobre a tolerância dessas culturas a herbicidas aplicados em pré e pós-emergência, ampliando o conhecimento disponível para o controle químico de plantas daninhas. Os resultados obtidos permitiram identificar herbicidas com potencial de seletividade, fornecendo subsídios para futuras recomendações agrônômicas e para o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao registro e uso seguro desses produtos nessas culturas. Além disso, as informações geradas preenchem lacunas de conhecimento sobre espécies ainda pouco estudadas no Brasil, fortalecendo a base científica necessária para a expansão sustentável de seu cultivo. Dessa forma, o trabalho contribui para o avanço de sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, especialmente ao ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis). Considerando as áreas temáticas da Política Nacional de Extensão, os impactos deste trabalho enquadram-se principalmente na área de Tecnologia e Produção, em decorrência da geração de conhecimento técnico-científico sobre a tolerância de herbicidas e o manejo de plantas daninhas nas culturas avaliadas, e também na área de Meio Ambiente, ao subsidiar práticas agrícolas mais sustentáveis e o uso racional de defensivos químicos.

IMPACT INDICATORS

Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.), carinata (*Brassica carinata* A. Braun), and sesame (*Sesamum indicum* L.) are oilseed crops of great importance for the diversification of Brazilian agricultural systems. These species have high potential for inclusion in agro-industrial chains geared toward bioenergy and vegetable oil production. Beyond their significant economic relevance, these crops are well suited to integration into rotation systems, contributing directly to strengthening sustainability and diversifying production systems. However, the shortage of registered herbicides and the lack of technical information on weed management remain the main bottlenecks limiting the commercial expansion and consolidation of these species in the Brazilian agricultural scenario. In this context, this study contributes to generating information on the tolerance of these crops to herbicides applied in pre- and post-emergence, expanding the available knowledge for chemical weed management. The results obtained allowed the identification of herbicides with potential selectivity, providing a basis for future agronomic recommendations and for research aimed at the registration and safe use of these products in these crops. In addition, the information generated fills knowledge gaps on species still poorly studied in Brazil, strengthening the scientific foundation needed for the sustainable expansion of their cultivation. Thus, this study contributes to the advancement of more efficient and sustainable agricultural systems, aligning with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture), SDG 8 (Decent Work and Economic Growth), and SDG 12 (Responsible Consumption and Production). Considering the thematic areas of the National Extension Policy, the impacts of this study fall mainly within the Technology and Production area, given the generation of technical-scientific knowledge on herbicide tolerance and weed management in the evaluated crops, and also within the Environment area, by supporting more sustainable agricultural practices and the rational use of chemical pesticides.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
REFERÊNCIAS.....	17
SEGUNDA PARTE	20
ARTIGO 1	22
TOLERÂNCIA DE <i>Brassica carinata</i> A. Braun A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA.....	22
ARTIGO 2	51
TOLERÂNCIA DE <i>Brassica juncea</i> L. Czern A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA.....	51
ARTIGO 3	79
TOLERÂNCIA DO <i>Sesamum indicum</i> L. A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA	79
TERCEIRA PARTE	104
2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	105

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A busca por sistemas agrícolas sustentáveis tem sido impulsionada por desafios globais relacionados à segurança alimentar, às mudanças climáticas e à necessidade de maior eficiência no uso dos recursos naturais (Dorward; Giller, 2022). Nesse cenário, a diversificação dos sistemas produtivos representa uma estratégia fundamental para aumentar a resiliência do setor. Essa prática reduz a dependência de monoculturas e minimiza os riscos ambientais e econômicos associados a cultivos altamente especializados.

A forte dependência do milho como cultura de segunda safra expõe os sistemas agrícolas à volatilidade de preços e aos altos custos de insumos (Christo *et al.*, 2024). A inserção de novas espécies otimiza o aproveitamento dos recursos disponíveis e amplia as oportunidades econômicas, industriais e energéticas (Gamayunova *et al.*, 2024). Entre as alternativas com potencial de introdução, as oleaginosas destacam-se devido à sua relevância econômica e à versatilidade de aplicações, que incluem a produção de óleos vegetais, biocombustíveis e bioprodutos, como biolubrificantes, bioplásticos e matérias-primas utilizadas pelas indústrias cosmética e farmacêutica (Marillia *et al.*, 2014; Dossa *et al.*, 2023). Essa estratégia contribui para a intensificação sustentável dos sistemas agrícolas ao ampliar as possibilidades de uso das áreas cultiváveis ao longo do ano, favorecendo o aumento da produtividade, sem necessidade da expansão da fronteira agrícola.

Diante dessas exigências de mercado e sustentabilidade, culturas oleaginosas como o gergelim (*Sesamum indicum* L.), a carinata (*Brassica carinata* A. Braun) e a mostarda-indiana (*Brassica juncea* L.) surgem como alternativas viáveis e complementares. O gergelim tem se destacado pela combinação entre ciclo curto (90 a 120 dias), facilidade de manejo, baixo custo de produção, elevada adaptabilidade e crescente demanda de mercado (Dossa *et al.*, 2023). No cenário nacional, seu cultivo expandiu-se do semiárido nordestino para as áreas de segunda safra na região Centro-Oeste, impulsionado justamente pela tolerância à restrição hídrica e aptidão para cultivo em áreas marginais.

Além da relevância agrônômica, o gergelim apresenta expressivo potencial econômico e comercial. A cultura demanda investimentos relativamente reduzidos, que representam menos de 40 % do custo do milho de segunda safra, o que confere ao produtor margens de lucro mais estáveis perante as oscilações de mercado (Christo *et al.*, 2024). Esse cenário de rentabilidade é impulsionado pelo alto teor de óleo da semente (45 a 55 %) (Ahmad *et al.*, 2023) e pelo crescimento das exportações brasileiras nos últimos anos. A abertura comercial para mercados importadores contribuiu significativamente para esse avanço, reforçando o potencial da cultura

como alternativa para a diversificação dos sistemas agrícolas brasileiros (Apex, 2025; Brasil, 2026).

O gênero *Brassica* reúne importantes espécies oleaginosas cultivadas mundialmente, atuando tanto como fonte de óleo vegetal para aplicações alimentícias e industriais quanto como base estratégica para sistemas voltados à bioenergia (Mcvetty; Duncan, 2015). No contexto da transição energética global, *Brassica carinata* e *Brassica juncea* destacam-se pelo potencial para a produção de biocombustíveis. Entretanto, enquanto a *carinata* é direcionada principalmente ao mercado industrial, a mostarda-indiana apresenta maior versatilidade de uso, com aplicações alimentícias e energéticas.

O interesse científico e comercial pela *carinata* está associado ao teor de óleo (42 a 52 %) e à elevada concentração de ácido erúico (43 %) em suas sementes (Seepaul *et al.*, 2021). Embora essa característica limite o uso alimentar do óleo, o ácido erúico possui elevado valor para aplicações industriais e energéticas, consolidando a cultura como uma matéria-prima estratégica para a produção de biocombustíveis, principalmente os SAF (*Sustainable Aviation Fuel*), sem competição direta com a cadeia de alimentos (Seepaul *et al.*, 2021). Além disso, a planta apresenta ciclo de aproximadamente 110 a 113 dias, tolerância ao estresse térmico, à restrição hídrica e a geadas leves, atributos que viabilizam seu cultivo em sistemas de segunda safra no Cerrado brasileiro, mesmo sob condições edafoclimáticas limitantes.

Por sua vez, a mostarda-indiana exibe ampla versatilidade de uso e relevante potencial agrônomo, com emprego tanto na produção de óleo (37 a 49 %) e condimentos quanto na matriz energética. A espécie reúne características de rusticidade como a tolerância ao calor, à seca e à salinidade, além de possuir um ciclo relativamente curto (110 a 120 dias), comparável ao do milho e do trigo cultivados no período de inverno no Brasil, atributos que favorecem sua inserção em sistemas de sucessão de culturas no cenário nacional (Bassegio; Zanotto, 2020). Além da exploração comercial dos grãos, a mostarda-indiana apresenta aptidão para uso como cultura de cobertura e na biofumigação. Essas características permitem sua atuação direta na conservação do solo, no manejo integrado de pragas e patógenos, contribuindo para a diversificação sustentável dos sistemas de produção (Karn *et al.*, 2025).

Apesar do potencial agrônomo e econômico dessas culturas, a consolidação de seu cultivo depende do manejo adequado de agentes bióticos que limitam a produtividade. Entre eles, destaca-se a interferência das plantas daninhas, favorecida pela reduzida capacidade competitiva do gergelim, da *carinata* e da mostarda-indiana nas etapas iniciais do ciclo (Singh *et al.*, 2013; Ismail *et al.*, 2024). Durante as primeiras semanas após a emergência, essas

espécies apresentam crescimento lento, o que favorece a competição por luz, água, nutrientes e espaço, resultando em expressivas perdas no rendimento de grãos (Grichar *et al.*, 2018; Yernaïdu *et al.*, 2024).

Neste contexto, a limitada disponibilidade de herbicidas seletivos constitui atualmente entrave para a expansão dessas culturas no cenário nacional. Em comparação com culturas amplamente estabelecidas, como soja e milho, o número de ingredientes ativos registrados e as informações disponíveis sobre a tolerância do gergelim, da carinata e da mostarda-indiana a esses produtos ainda são escassos (Brasil, 2026). Essa limitação restringe as opções de controle químico e aumenta o risco de injúrias às plantas, especialmente durante os estádios iniciais de desenvolvimento.

Essa escassez de ferramentas fica evidente ao analisar o cenário regulatório brasileiro (Brasil, 2026). Para o gergelim, por exemplo, há apenas 23 produtos formulados registrados, correspondentes a sete ingredientes ativos. Entre as principais opções destacam-se, em pós-emergência, o cletodim e a mistura de cletodim + haloxifope-P-metílico e, em pré-emergência, o S-metolacoloro. Ingredientes ativos como glifosato, dicamba, diquat e glufosinato de amônio também possuem registro, porém restritos ao manejo de dessecação em pré-semeadura.

A situação é ainda mais crítica para as brássicas, onde para a carinata, há registro de apenas um produto formulado à base de glufosinato de amônio, indicado exclusivamente para a dessecação em pré-colheita. Para a mostarda-indiana, existem quatro produtos registrados, contendo fluazifope-P-butílico, para o controle de gramíneas em pós-emergência, e glufosinato de amônio, aplicado em pós-emergência via jato dirigido (Brasil, 2026).

Entre os herbicidas disponíveis, observa-se que nenhum ingrediente ativo de aplicação em pré-emergência está registrado para essas culturas, com exceção do S-metolacoloro para o gergelim. Essa ausência é especialmente preocupante diante do cenário atual de manejo de plantas daninhas, marcado pelo crescente número de biótipos resistentes a herbicidas pós-emergentes e pela disseminação de espécies tolerantes ao glifosato, que se tornaram de difícil controle nos sistemas produtivos brasileiros (Silva *et al.*, 2025). Nesse contexto, os herbicidas pré-emergentes assumem papel estratégico, pois atuam diretamente sobre o banco de sementes do solo, reduzindo a pressão de seleção e prolongando a vida útil das moléculas ainda disponíveis (Silva *et al.*, 2025).

Contudo, por serem aplicados diretamente sobre o solo, o desempenho dos herbicidas pré-emergentes está condicionado à interação entre as características edáficas e climáticas do ambiente de cultivo. A textura do solo, o teor de matéria orgânica, o pH, a umidade e a

temperatura são alguns dos fatores determinantes para os processos de sorção, mobilidade e persistência dos ingredientes ativos no perfil do solo. Essas interações determinam a quantidade de herbicida disponível na solução do solo e, conseqüentemente, sua movimentação e disponibilidade para absorção pelas plantas, com reflexos sobre a eficácia no controle de plantas daninhas e sobre a tolerância da cultura (Silva *et al.*, 2025).

Entre as características edáficas, a textura do solo exerce importante influência sobre o comportamento dos herbicidas. Solos de textura argilosa tendem a apresentar maior capacidade de sorção, o que pode reduzir a disponibilidade dos ingredientes ativos na solução do solo e, conseqüentemente, a exposição das culturas. Em contrapartida, solos de textura arenosa apresentam menor capacidade de sorção, favorecendo maior disponibilidade e movimentação dos herbicidas na solução do solo, o que pode aumentar tanto sua ação sobre as plantas daninhas quanto o risco de danos às culturas. A menor retenção nesses solos também pode favorecer perdas por movimentação e reduzir o efeito residual dos herbicidas (Silva *et al.*, 2025). Dessa forma, a avaliação da tolerância das culturas a herbicidas pré-emergentes em diferentes texturas de solo torna-se essencial para a definição de estratégias de manejo seguras e eficazes.

A tolerância de uma espécie cultivada a um herbicida refere-se à sua habilidade inata de suportar a aplicação do produto sem que ocorram danos significativos ao seu desenvolvimento e produção, podendo decorrer de mecanismos fisiológicos e bioquímicos intrínsecos à planta, como a capacidade de metabolizar e detoxificar o ingrediente ativo, ou de fatores posicionais relacionados à forma de aplicação e à absorção do herbicida no solo (Christoffoleti *et al.*, 2016; Oliveira Junior, 2011).

A resposta das plantas é dose-dependente, variando desde a ausência de sintomas até injúrias que comprometem o desenvolvimento e a produtividade. Nesse sentido, a avaliação da tolerância em condições controladas constitui etapa preliminar e indispensável para identificar o comportamento das culturas frente a diferentes ingredientes ativos e doses, fornecendo as bases técnicas para experimentos subsequentes em campo, nos quais a seletividade, compreendida como a capacidade do herbicida de controlar as plantas daninhas sem causar danos à cultura, poderá ser confirmada em condições reais de produção (Cavaliere *et al.*, 2008; Constantin; Oliveira Junior; Oliveira, 2011).

Estudo recente conduzido com canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), espécie pertencente à mesma família botânica da mostarda-indiana e da carinata, demonstraram potencial de seletividade dos herbicidas clomazona em pré-emergência e quinclorac e dicamba em pós-emergência, além de eficácia no manejo de plantas daninhas e manutenção dos

componentes produtivos da cultura (Costa *et al.*, 2025). Esses resultados indicam que espécies da família Brassicaceae podem apresentar mecanismos fisiológicos de tolerância a determinados herbicidas ainda não registrados para essas culturas no Brasil.

Além desses herbicidas, ingredientes ativos auxínicos mais recentes, como halauxifeno-metílico, florpírauxifeno-benzílico e fluroxipir-metílico, apresentam elevado potencial para o manejo de plantas daninhas eudicotiledôneas em diferentes culturas agrícolas, porém, ainda carecem de estudos relacionados à tolerância para mostarda-indiana, carinata e gergelim. Assim, a avaliação dessas moléculas amplia as possibilidades de identificação de herbicidas com potencial uso futuro nessas culturas, contribuindo para a geração de informações técnico-científicas necessárias para programas de manejo e futuras demandas de registro.

Esse cenário de escassez de ferramentas químicas reforça a necessidade de identificar ingredientes ativos que possam ser utilizados com segurança nessas culturas, sem comprometer seu estabelecimento e desenvolvimento, possibilitando o manejo de plantas daninhas. Assim, a hipótese central deste estudo é que *Brassica juncea*, *Brassica carinata* e *Sesamum indicum* apresentam tolerância diferencial aos herbicidas avaliados, influenciada pelo mecanismo de ação, dose aplicada e características físico-químicas do solo, possibilitando a identificação de ingredientes ativos com potencial seletividade para uso no controle químico de plantas daninhas dessas culturas. Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar a tolerância do gergelim, da carinata e da mostarda-indiana à aplicação de diferentes herbicidas em pré e pós-emergência.

REFERÊNCIAS

AHMAD, I. *et al.* Phytomediated Selenium Nanoparticles Improved Physiomorphological, Antioxidant, and Oil Bioactive Compounds of Sesame under Induced Biotic Stress. **ACS Omega**, v. 8, n. 3, p. 3354–3366, 24 jan. 2023.

APEXBRASIL. **China – potencial de exportação de gergelim**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://apexbrasil.com.br/content/apexbrasil/br/pt/solucoes/inteligencia/alertas--insights-e-informes/alerta-de-acesso-ao-mercado/alerta-de-acesso---china---potencial-de-exportacao-de-gergelim--.html>. Acesso em: 1 jun. 2026.

BASSEGIO, D.; ZANOTTO, M. D. Growth, yield, and oil content of *Brassica* species under Brazilian tropical conditions. **Bragantia**, v. 79, n. 2, p. 203-212, 2020. DOI: 10.1590/1678-4499.20190411.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **AGROFIT**. Brasília, DF, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>. Acesso em: 11 jun. 2026.

CAVALIERI, S. D.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; RIOS, F. A.; FRANCHINI, L. H. M. Tolerância de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 203-214, 2008. DOI: 10.1590/S0100-83582008000100021.

CHRISTO, B. F.; LORENZONI, R. M.; MARQUES JUNIOR, E.; NÓIA JÚNIOR, R. S.; PAGOTTO, L. O. Sesame: a viable economic alternative for off-season double cropping systems in Mato Grosso, Brazil. **Agrometeoros**, v. 32, e027707, 2024. DOI: <https://doi.org/10.31062/agrom.v32.e027707>.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; BORGATO, E. A.; NETTO, A. G.; MELO, M. S. C. Resistência de plantas daninhas a herbicidas: termos e definições importantes. In: CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. (ed.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; OLIVEIRA, N. T. de. Manejo integrado de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 67-78.

COSTA, N.; PIMENTEL, G. V.; CHALES, A. S.; SILVA, L. D. R. da; WATANABE, E. da C. S.; GONÇALVES, A. H. Herbicide selectivity and efficacy in weed control in canola production system. **Crop Protection**, v. 193, p. 107207, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107207>.

DORWARD, A.; GILLER, K. E. Change in the climate and other factors affecting agriculture, food or poverty: an opportunity, a threat or both? A personal perspective. **Global Food Security**, v. 33, p. 100623, 2022. DOI: 10.1016/j.gfs.2022.100623.

DOSSA, K. F.; ENETE, A. A.; MIASSI, Y. E.; OMOTAYO, A. O. Economic analysis of sesame (*Sesamum indicum* L.) production in Northern Benin. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, p. 1015122, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1015122>.

GAMAYUNOVA, V.; KHONENKO, L.; MYKOLAICHUK, V.; KUVSHINOVA, A. Prospects and directions of diversification of oilseed group crops. **Scientific Horizons**, v. 27, n. 10, p. 102-112, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor10.2024.102>.

GRICHAR, W. J.; ROSE, J. J.; DOTRAY, P. A.; BAUGHMAN, T. A.; LANGHAM, D. R.; WERNER, K.; BAGAVATHIANNAN, M. Response of sesame to selected herbicides applied early in the growing season. **International Journal of Agronomy**, v. 2018, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9373721>.

ISMAIL, A. M.; HAMADA, S. H. E.; KORRAT, E. E.; EL GANANIY, S. M. Response of sesame (*Sesamum indicum* L.), associated weeds and subsequent crops to pre- and postemergence herbicides. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 22, n. 4, p. 3521-3537, 2024. DOI: 10.15666/aeer/2204_35213537.

KARN, N.; SAINI, N.; KUMAR, A.; NAUTIYAL, D.; PRASAD, R. Sustainable practices in mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern) farming: a comprehensive review. **Journal of Agricultural Sciences – Sri Lanka**, v. 20, n. 3, 2025. DOI: <https://doi.org/10.4038/jas.v20i3.11104>.

MARILLIA, E.-F.; FRANCIS, T.; FALK, K. C.; SMITH, M.; TAYLOR, D. C. Palliser's promise: *Brassica carinata*, an emerging western Canadian crop for delivery of new bio-industrial oil feedstocks. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 65-74, 2014. DOI: 10.1016/j.bcab.2013.09.012.

MCVETTY, P. B. E.; DUNCAN, R. W. Canola, rapeseed, and mustard: for biofuels and bioproducts. In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (ed.). **Industrial crops**. New York: Springer, 2015. v. 9, p. 133-156.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; INOUE, M. H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 243-262.

SEEPAL, R.; KUMAR, S.; IBOYI, J. E.; BASHYAL, M.; STANSLY, T. L.; BENNETT, R.; BOOTE, K. J.; MULVANEY, M. J.; SMALL, I. M.; GEORGE, S.; WRIGHT, D. L. *Brassica carinata*: biology and agronomy as a biofuel crop. **GCB Bioenergy**, v. 13, n. 4, p. 582-599, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12804>.

SILVA, A. N. da; HOLDEFER, B.; OLIVEIRA, D. da S.; DICKEL, I. C. H.; PRADO, M. T. S. do. Herbicidas pré-emergentes como ferramenta estratégica no manejo integrado de plantas daninhas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 22, n. 54, p. 94-126, 2025. DOI: 10.18677/EnciBio_2025D6.

SINGH, R. K.; SINGH, R. P.; SINGH, M. K. Weed management in rapeseed-mustard: a review. **Agricultural Reviews**, v. 34, n. 1, p. 36-49, 2013.

YERNAIDU, Y.; REDDY, G. R. M.; SRIRAM, K.; BABU, M. E. K.; SRAVANI, P. Optimizing weed control: a review of integrated weed management in mustard (*Brassica juncea* L.). **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 46, n. 5, p. 654-671, 2024. DOI: <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i52420>.

SEGUNDA PARTE

Artigo 1 - Elaborado conforme a norma NBR 6022	
Título do artigo:	Tolerância de <i>Brassica carinata</i> A. Braun a herbicidas aplicados pré e pós-emergência
Autores:	Ana Luiza Pereira Ferreira, Natália Costa, Luiz Daniel Rodrigues da Silva, Luiz Felipe Damascena de Oliveira, Christiane Augusta Diniz Melo e Guilherme Vieira Pimentel.

Artigo 2 - Elaborado conforme a norma NBR 6022	
Título do artigo:	Tolerância de <i>Brassica juncea</i> (L.) Czern a herbicidas aplicados pré e pós-emergência
Autores:	Ana Luiza Pereira Ferreira, Natália Costa, Luiz Daniel Rodrigues da Silva, Giovanna Guerra Zutin, Christiane Augusta Diniz Melo e Guilherme Vieira Pimentel.

Artigo 3 - Elaborado conforme a norma NBR 6022	
Título do artigo:	Tolerância do gergelim a herbicidas aplicados em pré e pós-emergência
Autores:	Ana Luiza Pereira Ferreira, Natália Costa, Emily Xavier de Oliveira, Luiz Daniel Rodrigues da Silva, Christiane Augusta Diniz Melo e Guilherme Vieira Pimentel.

ARTIGO 1

TOLERÂNCIA DE *Brassica carinata* A. Braun A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA

TOLERANCE OF *Brassica carinata* A. Braun TO PRE- AND POST-EMERGENCE HERBICIDES¹

Ana Luiza Pereira Ferreira

0009-0001-0492-3879

Natália Costa

0000-0003-3864-1551

Luiz Daniel Rodrigues da Silva

0000-0003-2703-0026

Luiz Felipe Damascena de Oliveira

0009-0004-2339-7263

Christiane Augusta Diniz Melo

0000-0001-6385-2153

Guilherme Vieira Pimentel

0000-0001-9849-6427

Resumo: A crescente demanda por matérias-primas renováveis para a produção de combustível sustentável de aviação tem ampliado o interesse pela carinata. No entanto, ainda são escassas as informações sobre a tolerância da cultura a herbicidas, dificultando a definição de programas seguros de manejo de plantas daninhas. Objetivou-se avaliar a tolerância da carinata a diferentes doses de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência, bem como a influência das condições do solo sobre a resposta da cultura aos herbicidas aplicados em pré-emergência. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, com quatro repetições. Em pré-emergência, o delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×5 (dois tipos de solo $\times$ cinco doses), avaliando-se clomazona, quinclorac e fluroxipir-metílico em solo arenoso e argiloso. Em pós-emergência, o delineamento foi inteiramente casualizado, com cinco doses, avaliando-se separadamente dicamba, quinclorac, halauxifeno-metílico, florpirauxifeno-benzílico e fluroxipir-metílico. A tolerância foi avaliada por fitotoxicidade visual, altura de plantas, massa seca da parte aérea, doses efetivas para reduzir em 10 % e 20 % as variáveis avaliadas e pelo Índice de Tolerância Médio (ITM). Em pré-emergência, para o quinclorac, a dose efetiva estimada pelo ITM para reduzir em 10 % a resposta da carinata foi de 43,00 g i.a. ha⁻¹, independentemente do tipo de solo, enquanto a clomazona promoveu aumento da fitotoxicidade com o incremento das doses avaliadas. As condições do solo influenciaram a resposta da carinata ao fluroxipir-metílico na primeira época experimental e ao quinclorac na segunda época experimental, enquanto a clomazona não apresentou interação com o tipo de solo em nenhuma das épocas. Em pós-emergência, para o quinclorac, a dose efetiva estimada pelo ITM para reduzir em 10 % a resposta da carinata foi de 59,83 g i.a. ha⁻¹, enquanto o aumento das doses de fluroxipir-metílico resultou em maior fitotoxicidade da cultura nas condições avaliadas. Halauxifeno-metílico e florpirauxifeno-benzílico comprometeram o crescimento da cultura, com doses efetivas estimadas pelo ITM para reduzir em 10 % a resposta da carinata inferiores à menor dose comercial recomendada. Os resultados

¹ Artigo científico apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal.

indicam que a resposta da carinata aos ingredientes ativos varia conforme a dose, a modalidade de aplicação e, para alguns tratamentos, as condições do solo, sendo necessários estudos em campo para validar as respostas observadas em casa de vegetação.

Palavras-chave: Fitotoxicidade; Solos contrastantes; Índice de tolerância médio; Herbicidas auxínicos; Isoxazolidinona.

Abstract: The increasing demand for renewable feedstocks for sustainable aviation fuel production has raised interest in carinata. However, information on crop tolerance to herbicides remains scarce, hindering the development of safe weed management programs. This study aimed to evaluate carinata tolerance to different herbicide rates applied pre- and post-emergence, as well as the influence of soil texture on crop response to herbicides applied pre-emergence. The experiments were conducted under greenhouse conditions, with four replications. In pre-emergence, a randomized complete block design was used in a 2×5 factorial arrangement (two soil conditions $\times$ five herbicide rates), with clomazone, quinclorac, and fluroxypyr-methyl evaluated under sandy and clayey soil conditions. In post-emergence, a completely randomized design with five herbicide rates was used to evaluate dicamba, quinclorac, halauxifen-methyl, florpyrauxifen-benzyl, and fluroxypyr-methyl individually. Tolerance was assessed based on visual crop injury, plant height, shoot dry mass, effective doses required to reduce the evaluated variables by 10 % and 20 %, and the Mean Tolerance Index (MTI). In pre-emergence, for quinclorac, the effective dose estimated by the MTI to reduce carinata response by 10 % was 43.00 g a.i. ha⁻¹, regardless of soil condition, whereas clomazone increased crop injury as the herbicide rates increased. Soil texture influenced carinata response to fluroxypyr-methyl in the first experimental period and to quinclorac in the second experimental period, whereas clomazone showed no interaction with soil condition in either period. In post-emergence, for quinclorac, the effective dose estimated by the MTI to reduce carinata response by 10 % was 59.83 g a.i. ha⁻¹, whereas increasing fluroxypyr-methyl rates resulted in greater crop injury under the evaluated conditions. Halauxifen-methyl and florpyrauxifen-benzyl impaired crop growth, with effective doses estimated by the MTI to reduce carinata response by 10 % being lower than the lowest commercially recommended rate. The results indicate that carinata response to the active ingredients varies according to herbicide rate and application timing and, for some treatments, soil texture, and field studies are required to validate the responses observed under greenhouse conditions.

Keywords: Phytotoxicity; Contrasting soils; Mean tolerance index; Auxinic herbicides; Isoxazolidinone.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por matérias-primas renováveis para a produção de combustível sustentável de aviação (SAF- *Sustainable Aviation Fuel*) tem crescido em resposta às metas de descarbonização do setor. No Brasil, esse movimento foi consolidado pela Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024), que instituiu o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV) e estabeleceu metas progressivas de redução das emissões de gases de efeito estufa a partir de 2027 (Dwivedi *et al.*, 2021; Brasil, 2024). O cumprimento dessas

metas exige a ampliação da oferta de matérias-primas renováveis, aumentando o interesse por oleaginosas não alimentares adaptadas aos sistemas de produção tropical. Nesse contexto, culturas capazes de integrar sistemas agrícolas existentes e ocupar áreas agrícolas já consolidadas tornam-se estratégicas para ampliar a disponibilidade de matérias-primas destinadas à produção de SAF.

A carinata (*Brassica carinata* A. Braun) reúne características que favorecem seu uso como matéria-prima para a produção de SAF. A espécie apresenta elevado teor de óleo (42 a 52 %) e alta concentração de ácido erúico, atributos que favorecem sua conversão em SAF (Seepaul *et al.*, 2021; Masum *et al.*, 2023). A produção de SAF a partir de seu óleo apresenta redução de aproximadamente 68 % na intensidade de carbono em comparação ao querosene fóssil, e, por se tratar de uma cultura não alimentar, seu cultivo ainda minimiza conflitos com a produção de alimentos (Seepaul *et al.*, 2021). A espécie apresenta maior tolerância a altas temperaturas e ao déficit hídrico do que a canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), favorecendo seu cultivo na segunda safra do Cerrado brasileiro e o uso de áreas agrícolas já consolidadas para produção de matéria-prima destinada ao SAF, sem necessidade de expansão da área cultivada (Bassegio; Zanotto, 2020; Guimarães *et al.*, 2023).

O potencial produtivo da carinata, entretanto, é limitado pela interferência de plantas daninhas durante o estabelecimento da cultura. Nos estádios iniciais, o crescimento lento e a baixa cobertura do solo reduzem a capacidade competitiva da espécie, favorecendo a emergência e o estabelecimento das plantas daninhas (Singh *et al.*, 2013; Saranya *et al.*, 2022). Após o fechamento do dossel, a cultura passa a competir de forma mais eficiente, reduzindo o desenvolvimento das plantas daninhas (Tiwari *et al.*, 2021). Assim, reduzir a interferência das plantas daninhas durante esse período inicial é essencial para garantir o estabelecimento da cultura e a expressão do potencial produtivo.

Embora o controle químico seja uma das principais ferramentas para o manejo de plantas daninhas, a carinata ainda apresenta opções limitadas de herbicidas registrados no Brasil. O único ingrediente ativo registrado para a cultura é o glufosinato de amônio, indicado exclusivamente para dessecação em pré-colheita (Brasil, 2026). Essa limitação restringe o controle químico das plantas daninhas durante o estabelecimento da cultura e evidencia a necessidade de avaliar moléculas com potencial de uso em carinata.

Nesse cenário, a avaliação da tolerância da cultura constitui uma etapa inicial para identificar herbicidas com potencial de uso. A tolerância corresponde à capacidade inata de uma cultura suportar a aplicação de um herbicida sem prejuízos significativos ao desenvolvimento

e à produção, podendo estar relacionada a mecanismos fisiológicos de metabolização do ingrediente ativo ou a fatores associados à absorção do herbicida no solo (Christoffoleti *et al.*, 2016; Oliveira Junior, 2011). A avaliação em doses crescentes permite estabelecer curvas de dose-resposta e identificar os limites de tolerância da cultura, fornecendo informações iniciais para estudos posteriores de seletividade em condições de campo (Constantin; Oliveira Junior; Oliveira, 2011).

Na ausência de informações específicas para carinata, espécies do mesmo gênero podem fornecer referências para a seleção de moléculas com potencial de avaliação. A canola, por pertencer ao mesmo gênero da carinata, é uma fonte de informações relevante para a seleção de moléculas com potencial de uso na cultura. Costa *et al.*, (2025) evidenciaram tolerância da cultura à clomazona, ao quinclorac e ao dicamba, sem impactos sobre o teor de óleo, proteína e componentes de rendimento, fornecendo evidências que podem subsidiar a seleção dessas moléculas para avaliação em carinata. Além disso, os herbicidas auxínicos representam uma classe relevante para o manejo de plantas daninhas de folhas largas em culturas do gênero *Brassica*. No Canadá, moléculas auxínicas como clopiralida e halauxifeno-metílico apresentam histórico de uso em canola, reforçando o interesse na avaliação desses mecanismos de ação em carinata (Health Canada, 2020).

Herbicidas aplicados em pré e pós-emergência apresentam diferentes interações com a cultura e o ambiente de aplicação. Os herbicidas pré-emergentes possuem efeito residual, e sua disponibilidade depende de características como textura e capacidade de sorção, que influenciam a quantidade de ingrediente ativo disponível para absorção pelas plantas (Silva *et al.*, 2025). Os herbicidas pós-emergentes, por sua vez, atuam diretamente sobre tecidos vegetais, dependendo da absorção foliar, translocação e sensibilidade da cultura ao mecanismo de ação (Carvalho, 2013). Essa diferença justifica a avaliação da tolerância da carinata nas duas modalidades de aplicação.

A hipótese deste estudo é que a tolerância de *B. carinata* aos herbicidas varia em função do ingrediente ativo e do seu mecanismo de ação, da dose aplicada e, para herbicidas pré-emergentes, das características do solo. Diante disso, objetivou-se avaliar a tolerância de *B. carinata* a diferentes herbicidas aplicados em pré e pós-emergência, considerando diferentes mecanismos de ação, doses crescentes e, nos pré-emergentes, dois tipos de solo.

2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (DAG/UFLA), em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21°13'36.10" S, 44°58'21.38" W). O clima da região é classificado como Cwa, caracterizado como subtropical úmido com influência de monções, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

Com o objetivo de avaliar a tolerância do híbrido de carinata (*Brassica carinata* A. Braun) 'Nujet 350' (Nufarm®) a herbicidas aplicados em pré- e pós-emergência, foram conduzidos experimentos independentes para cada ingrediente ativo. Os experimentos foram repetidos em duas épocas experimentais, permitindo verificar a consistência das respostas da cultura sob diferentes condições ambientais.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados (DBC) em pré-emergência e inteiramente casualizado (DIC) em pós-emergência, com cinco doses e quatro repetições. Ao todo foram realizados 16 experimentos independentes, sendo seis experimentos em pré-emergência (três herbicidas em duas épocas) e 10 experimentos em pós-emergência (cinco herbicidas em duas épocas). Os experimentos em pré-emergência foram instalados em setembro e repetidos em novembro de 2025, enquanto aqueles conduzidos em pós-emergência foram instalados em setembro de 2025 e repetidos em fevereiro de 2026 (Tabela 1).

Tabela 1 - Herbicidas avaliados, modalidade de aplicação e doses testadas.

Herbicida	Ingrediente ativo (i.a.)	Modalidade	Doses testadas (g i.a. ha⁻¹)
Facet®	Quinclorac	Pré e pós	0; 47; 93,8; 187,5; 375
Gamit®	Clomazona	Pré	0; 45; 90; 180; 360
Widclear®	Fluroxipir-metílico	Pré e pós	0; 30; 60; 90; 120*
Atectra®	Dicamba	Pós	0; 45; 90; 180; 360
Elevore®	Halauxifeno-metílico	Pós	0; 5,7; 7,1; 10,7; 12,3
Gapper®	Florpirauxifeno-benzílico	Pós	0; 5,7; 7,1; 10,7; 12,3

*equivalente ácido.

Fonte: elaboração própria.

Para o quinclorac, o dicamba e a clomazona, as doses foram baseadas em Costa *et al.* (2025), que avaliaram esses ingredientes ativos na cultura da canola, espécie da mesma família botânica das culturas estudadas. Para o halauxifeno-metílico e o florpirauxifeno-benzílico, as doses testadas corresponderam à faixa de recomendação de bula. O fluroxipir-metílico foi

selecionado como alternativa ao clopiralida, herbicida do mesmo mecanismo de ação (Grupo O; Carvalho *et al.*, 2019) sem registro no Brasil para as culturas avaliadas, com doses baseadas em recomendações internacionais de uso em culturas de inverno (Heuston; Macpherson, 2023).

2.1 Pré-emergência

Os experimentos em pré-emergência foram conduzidos em bandejas de poliestireno contendo dez células, cada uma com volume aproximado de 140 cm³. Cada bandeja constituiu uma unidade experimental. Para reduzir possíveis efeitos de bordadura, todas as avaliações foram realizadas em plântulas localizadas na região central da unidade experimental. Os tratamentos foram aplicados até 24 horas após a semeadura.

Duas condições de solo com características distintas foram avaliadas, constituindo um esquema fatorial 2 × 5, com duas condições de solo e cinco doses do herbicida. Cada tratamento foi composto por quatro unidades experimentais (bandejas). As duas condições experimentais foram obtidas a partir de um Latossolo Vermelho-Amarelo (Santos *et al.*, 2018), classificado como Typic Hapludox segundo o *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2022). Uma condição correspondeu ao solo original, enquanto a segunda foi obtida pela mistura desse solo com areia, na proporção de 2:1 (v:v). A comparação entre as duas condições de solo foi realizada exclusivamente nos experimentos em pré-emergência, devido à reconhecida interação das propriedades físico-químicas do solo com as características físico-químicas dos herbicidas, influenciando os processos de sorção, disponibilidade e persistência dos ingredientes ativos no solo, fatores determinantes para a resposta das culturas aos herbicidas durante o estabelecimento inicial.

Antes da instalação dos experimentos, amostras de solo foram coletadas na camada de 0,00–0,20 m para caracterização química e física, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017). Os resultados dessas análises subsidiaram a correção da acidez e a adubação das unidades experimentais, de acordo com as recomendações técnicas para a produção de canola (CQFS-RS/SC, 2016). Após a calagem, o solo permaneceu incubado por 90 dias e uma nova amostragem foi realizada para confirmar a correção da acidez. Os valores apresentados a seguir referem-se a essa análise, feita após a incubação (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica das condições de solo utilizadas nos experimentos.

Atributo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo + areia (2:1)
----------	----------------------------	-------------------------

pH (H ₂ O)	7,4	5,6
M.O (g dm ⁻³)	6,5	2,6
P (mg dm ⁻³)	0,75	33,17
K ⁺ (mmolc dm ⁻³)	0,97	2,14
Ca ²⁺ (mmolc dm ⁻³)	24,4	6,0
Mg ²⁺ (mmolc dm ⁻³)	4,4	3,5
Al ³⁺ (mmolc dm ⁻³)	0	0
H+Al (mmolc dm ⁻³)	11,0	10,0
CTC (mmolc dm ⁻³)	40,8	21,6
V (%)	72,98	53,93
Areia (%)	27	76
Silte (%)	11	1
Argila (%)	62	23

MO = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases.

Fonte: elaboração própria

2.2 Pós-emergência

Os experimentos em pós-emergência foram conduzidos em vasos com capacidade para 1 L, preenchidos com substrato comercial Maxfertil[®]. A utilização de substrato comercial teve como finalidade proporcionar condições homogêneas de crescimento das plantas e reduzir a variabilidade experimental decorrente das propriedades físicas e químicas do solo, permitindo que as diferenças observadas fossem atribuídas predominantemente aos tratamentos herbicidas.

Foram semeadas quatro sementes por vaso e, após a emergência, realizou-se o desbaste, permanecendo apenas uma planta por unidade experimental. Dessa forma, cada vaso constituiu uma unidade experimental, sendo todas as avaliações realizadas na planta remanescente. Os tratamentos foram aplicados quando as plantas apresentavam entre três e quatro folhas verdadeiras.

Todos os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação sob temperaturas variando entre 20 e 27 °C e umidade relativa entre 70 e 80 %. A irrigação foi realizada manualmente, mantendo-se as condições de cultivo próximas à capacidade de campo durante o período experimental. Todas as aplicações, em pré e pós-emergência, foram efetuadas utilizando pulverizador costal elétrico (Brudden SS-20B), equipado com pontas AVI11002, operando à pressão constante de 2 bar e volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

2.3 Caracteres avaliados e análise estatística

As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). As notas de fitotoxicidade visual foram atribuídas por três avaliadores em cada época de avaliação, utilizando-se a escala conceitual proposta pela European Weed Research Council (EWRC), variando de 1 (ausência de sintomas) a 9 (morte da planta) (EWRC, 1964).

Aos 28 DAA também foram determinadas a altura de plantas (cm) e a massa seca da parte aérea (g). Para determinação da biomassa, o material vegetal foi acondicionado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, até massa constante.

Nos experimentos em pós-emergência, todas as variáveis foram mensuradas na única planta presente em cada vaso. Nos experimentos em pré-emergência, a fitotoxicidade foi determinada em cinco plântulas por bandeja, totalizando 20 plantas avaliadas por tratamento. As avaliações de altura de plantas e massa seca da parte aérea foram realizadas em quatro plântulas selecionadas aleatoriamente por unidade experimental, totalizando 16 plantas por tratamento.

Visando integrar diferentes atributos relacionados à tolerância do híbrido aos herbicidas, foi desenvolvido o Índice de Tolerância Médio (ITM). A proposição desse índice fundamentou-se no fato de que herbicidas auxínicos frequentemente promovem espessamento caulinar, formação de galhas e outras alterações morfológicas que podem elevar artificialmente a massa seca, sem representar, necessariamente, melhor desempenho fisiológico da planta. Dessa forma, o ITM integra simultaneamente informações de crescimento e intensidade de injúrias visuais, proporcionando uma estimativa mais robusta da tolerância da cultura.

O índice foi calculado considerando a média das duas épocas experimentais, conforme a Equação 1:

$$ITM = \frac{(MSep1 + Altep1 + (10 - Fit28ep1)) + (MSep2 + Altep2 + (10 - Fit28ep2))}{2} \quad (Eq.1)$$

em que:

- MS = massa seca da parte aérea;
- Alt = altura de plantas;
- Fit28 = fitotoxicidade visual aos 28 dias após a aplicação;
- ep1 e ep2 correspondem à primeira e segunda épocas experimentais, respectivamente.

Para os experimentos em pré-emergência, o ITM foi obtido a partir da média das variáveis avaliadas nos solos arenoso e argiloso para cada dose do herbicida, resultando em um único índice por dose e época experimental. Essa estratégia permitiu sintetizar a resposta global da cultura aos herbicidas, independentemente das condições do solo, facilitando o ajuste das

curvas de regressão e a estimativa das doses efetivas capazes de reduzir em 10 e 20 % o desempenho das plantas (ED_{10} e ED_{20}). Para os experimentos em pós-emergência, o índice foi calculado diretamente para cada dose, uma vez que o fator tipo de solo não foi considerado.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR[®] (Ferreira, 2019). Inicialmente, verificaram-se os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$), sendo cada época experimental analisada separadamente.

Nos experimentos em pré-emergência, adotou-se esquema fatorial envolvendo os fatores dose e tipo de solo. Quando observada interação significativa, realizou-se o desdobramento dos efeitos das doses dentro de cada tipo de solo e do tipo de solo dentro de cada dose. Na ausência de interação significativa, os fatores principais foram interpretados isoladamente. Nos experimentos em pós-emergência, a análise estatística considerou apenas o efeito das doses dos herbicidas.

Quando detectado efeito significativo das doses ($p \leq 0,05$), ajustaram-se modelos de regressão para todas as variáveis avaliadas, incluindo o Índice de Tolerância Médio (ITM), a altura de plantas e a biomassa seca da parte aérea. A partir dos modelos ajustados foram estimadas (ED_{10}) e (ED_{20}) o desempenho das plantas, parâmetros amplamente empregados em estudos de seletividade e curvas dose-resposta para quantificar a tolerância de culturas a herbicidas (Ortmeier-Clarke *et al.*, 2022).

3 RESULTADOS

3.1 Pré-emergência

Na cultura da carinata submetida a aplicação dos herbicidas em pré-emergência, a fitotoxicidade visual (7 aos 28 DAA) variou conforme o herbicida, a dose e o tipo de solo (Tabela 3), nas duas épocas experimentais.

Tabela 3 - Fitotoxicidade visual de *Brassica carinata* A. Braun submetida à aplicação de doses crescentes de herbicidas em pré-emergência, em solo arenoso e argiloso, em duas épocas experimentais.

Herbicida	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Época 1								Época 2					
		7 DAA		14 DAA		21 DAA		28 DAA		7	14DAA		21 DAA		28
		AR	AG	AR	AG	AR	AG	AR	AG	DAA	AR	AG	AR	AG	DAA
Gamit [®] (Clomazona)	0	1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a	1,0 a		1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 a
	45	4,0 b		6,5 b		6,8 b		7,3 b		1,0 a	1,6 a		1,5 Aa	1,7 Aa	1,5 a
	90	4,0 b		7,6 c		7,9 c		8,0 bc		3,1 b	5,9 b		4,7 Ab	6,6 Bb	4,9 b
	180	4,0 b		8,3 cd		9,0 d		9,0 c		3,7 c	7,0 bc		7,0 Ac	6,7 Ab	6,2 c
	360	4,0 b		9,0 d		9,0 d		9,0 c		3,9 c	7,5 c		7,5 Ac	7,7A b	6,7 c
Média geral		3,4		6,5		6,7		6,8		2,6	4,6		4,6		4,0
C.V(%)		0		11,3		10,3		12,9		14,7	15,8		13,7		21,1
Facet [®] (quinclorac)	0	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 a
	47	1,3 Aa	1,0 Aa	3,1 b		2,5 b		2,7 b		1,2 a	1,2 Aa	2,2 Bb	1,0 Aa	2,2 Bab	1,9 a
	93,8	1,0 Aa	1,0 Aa	3,4 bc		3,0 b		3,0 b		1,3 a	3,3 Bb	2,6 Ab	3,7 Bb	2,7 Ab	3,1 b
	187,5	1,5 Aa	1,0 Aa	3,9 bc		4,9 c		5,2 c		1,1 a	3,2 Ab	3,0 Ab	3,0 Ab	3,2 Ab	3,4 bc
	375	3,0 Bb	1,0 Aa	4,2 c		6,0 d		6,0 c		1,3 a	3,3 Ab	4,0 Ac	3,0 Ab	5,0 Bc	4,2 c
Média geral		1,3		3,1		3,5		3,6		1,2	2,5		2,6		2,7
C.V(%)		46,9		19,5		18,9		22,9		26,9	17,3		24,6		27,5
Widclear [®] (fluroxipir- metílico)	0*	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 a	1,0 a		1,0 a		1,0 a
	30	1,0 Aa	2,0 Bab	1,7 Aa	2,0 Aa	1,5Aa	2,0 Aab	1,2 Aa	2,0 Aa	1,1 a	1,5 ab		1,5 ab		1,4 ab
	60	4,0 Bb	2,5 Ab	5,2 Ab	5,0 Ab	6,5 Ab	6,0 Ad	6,5Ab	6,0 Ab	1,4 ab	1,9 ab		2,1 ab		1,9 ab
	90	4,7 Bb	2,7 Ab	6,2 Bb	4,5 Ab	6,7 Bb	3,5 Abc	7,7 Bb	3,2 Aa	2,2 bc	2,7 b		2,6 b		2,7 b
	120	3,7 Bb	2,7 Ab	6,0 Bb	4,2 Ab	6,5 Bb	4,2 Acd	7,0 Bb	3,2 Aa	2,9 c	4,6 c		4,6 c		4,9 c
Média geral		2,6		3,7		3,9		3,9		1,7	2,3		2,4		2,4
C.V(%)		24,7		17,6		27,4		31,7		34,7	4,6		43,9		40,9

AR= solo arenoso; AG = solo argiloso. * equivalente ácido. Fitotoxicidade avaliada pela escala EWRC (1–9), em que 1 = ausência de injúria e 9 = morte da planta. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: elaboração própria

Para a clomazona (Gamit[®]), não houve interação significativa entre dose e tipo de solo em todas as avaliações da Época 1 e nas avaliações de 7, 14 e 28 DAA da Época 2 (Tabela 3). A única exceção foi aos 21 DAA da Época 2, na dose de 90 g i.a. ha⁻¹, quando houve interação significativa entre dose e tipo de solo, com o solo argiloso apresentando fitotoxicidade superior ao arenoso (Tabela 3).

Na Época 1, a fitotoxicidade aumentou progressivamente com o incremento das doses de clomazona. A partir dos 14 DAA, as doses de 180 e 360 g i.a. ha⁻¹ promoveram injúrias severas, atingindo a nota máxima da escala EWRC (9) aos 21 e 28 DAA.

Na Época 2, os sintomas foram menos intensos em relação à primeira época. A dose de 45 g i.a. ha⁻¹ permaneceu semelhante à testemunha na maior parte das avaliações, enquanto doses iguais ou superiores a 90 g i.a. ha⁻¹ promoveram aumento progressivo da fitotoxicidade ao longo do período experimental, alcançando nota máxima 6,7 aos 28 DAA na maior dose avaliada (360 g i.a. ha⁻¹). De modo geral, as condições do solo exerceram influência limitada sobre a resposta da cultura à clomazona, sendo detectada interação entre os fatores apenas aos 21 DAA da segunda época experimental. Aos 21 DAA da Época 2, doses superiores a 45 g i.a. ha⁻¹ promoveram fitotoxicidade em ambos os solos, com notas superiores a 4 na escala EWRC, embora a intensidade dos sintomas tenha variado entre as condições do solo apenas nessa avaliação.

O quinclorac (Facet[®]) promoveu níveis de fitotoxicidade inferiores aos observados para a clomazona em ambas as épocas experimentais (Tabela 3). Houve interação significativa entre dose e tipo de solo apenas aos 7 DAA na Época 1 e aos 14 e 21 DAA da Época 2. Nas demais avaliações, incluindo os 28 DAA de ambas as épocas, não houve interação significativa entre dose e tipo de solo. Aos 7 DAA da Época 1, apenas a dose de 375 g i.a. ha⁻¹ promoveu fitotoxicidade superior à testemunha no solo arenoso, com nota 3,0, enquanto no solo argiloso não foram observados sintomas visuais nas diferentes doses.

Nas avaliações subsequentes da Época 1, independentemente das condições do solo, a fitotoxicidade aumentou de forma gradual com o incremento das doses, atingindo nota máxima de 6,0 aos 28 DAA na dose de 375 g i.a. ha⁻¹. Na Época 2, a interação observada aos 14 e 21 DAA indicou resposta diferenciada entre as doses e as condições do solo nas doses de 93,8 e 375 g i.a. ha⁻¹. Entretanto, aos 28 DAA, apenas o efeito das doses foi significativo, sendo observada fitotoxicidade máxima de 4,2 na dose de 375 g i.a. ha⁻¹, independentemente das condições do solo. De forma geral, o quinclorac apresentou fitotoxicidade moderada e inferior

à observada para a clomazona, indicando maior tolerância inicial da cultura, especialmente na segunda época experimental.

Para o fluroxipir-metílico (Widclear[®]), houve interação significativa entre dose e condições do solo em todas as avaliações da Época 1, enquanto na Época 2 apenas o efeito das doses foi significativo (Tabela 3). Na primeira época experimental, a fitotoxicidade aumentou progressivamente com o incremento das doses em ambos os solos, porém os sintomas foram mais intensos no solo arenoso, evidenciando maior disponibilidade do herbicida nesse ambiente. Na dose de 120 g e.a. ha⁻¹, o solo arenoso atingiu a maior nota de fitotoxicidade entre os dois solos, 7,0, aos 28 DAA. No solo argiloso, a fitotoxicidade foi sempre menor, alcançando no máximo 4,2, valor observado já aos 14 DAA e mantido até os 21 DAA, com leve queda para 3,2 aos 28 DAA. Na Época 2, independentemente das condições do solo, a fitotoxicidade aumentou em função da dose aplicada, sendo a dose de 30 e 60 g e.a. ha⁻¹ semelhante à testemunha na maioria das avaliações, enquanto as doses superiores promoveram incremento gradual dos sintomas, atingindo nota máxima de 4,6 aos 21 DAA e para 4,9 aos 28 DAA na maior dose avaliada.

Os parâmetros das equações de regressão ajustadas para altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM), bem como as estimativas das doses efetivas responsáveis pela redução de 10 % (ED₁₀) e 20 % (ED₂₀) dessas variáveis em relação à testemunha (dose zero), são apresentados na Tabela 4. As equações permitiram descrever a resposta das culturas ao incremento das doses dos herbicidas e estimar os limites de tolerância para cada variável avaliada.

Tabela 4 - Equações de regressão ajustadas e estimativas das doses efetivas (ED₁₀ e ED₂₀) para redução de 10 e 20 % da altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM) de *Brassica carinata* submetidas à aplicação de herbicidas em pré-emergência, nos dois tipos de solo e nas duas épocas experimentais.

Herbicida	Variável	Tipo de solo	Equação ajustada		R ²		ED ₁₀ (g i.a. ha ⁻¹)		ED ₂₀ (g i.a. ha ⁻¹)	
			Época 1	Época 2	Ép.1	Ép. 2	Ép.1	Ép. 2	Ép.1	Ép. 2
Facet® (quinclorac)	Altura	AR	y = 11,12686 – 0,01777x	y = 5,7556 – 0,0210x + 6,09×10 ⁻⁵ x ²	0,855	0,367	62,62	31,69	125,23	74,93
		AG		n.s		-		-		-
	Massa seca	AR	y = 2,35188 – 0,00467x	y = 1,0715 – 0,00361x + 9,10×10 ⁻⁶ x ²	0,944	0,271	50,36	32,31	100,72	72,68
		AG		n.s		-		-		-
	ITM		y = 18,6918 – 0,04624x + 6,4432×10 ⁻⁵ x ²		0,996		43,00		92,86	
Gamit® (clomazona)	Altura	AR	y = 8,9291 – 0,09006x + 1,8333×10 ⁻⁴ x ²	y = 5,7663 – 0,02886x + 4,9568×10 ⁻⁵ x ²	0,886	0,875	10,12	20,72	20,70	43,16
		AG								
	Massa seca	AR	y = 2,1173 – 0,02106x + 4,2622×10 ⁻⁵ x ²	y = 0,9992 – 0,00630x + 1,1553×10 ⁻⁵ x ²	0,904	0,946	10,27	16,35	21,00	33,82
		AG								
	ITM		y = 17,3694 – 0,1309x + 2,5600×10 ⁻⁴ x ²		0,970		13,63		28,08	
Widclear® (fluroxipir-metilico)	Altura	AR	y = 12,16550 – 0,091375x	n.s	0,669	-	13,31	-	26,63	-
		AG								
	Massa seca	AR	y = 2,7096 – 0,04384x + 2,2698×10 ⁻⁴ x ²	n.s	0,739	0,894	6,39	63,22	13,27	84,78
		AG								
	ITM		y = 18,64900 – 0,081075x		0,733		23,00		46,00	

AR = solo arenoso; AG = solo argiloso. Ép.1= época 1; Ép.2= época 2. Facet (0; 47, 93,8, 187,5, 375 g i.a ha⁻¹); Gamit (0; 45, 90, 180, 360 g i.a ha⁻¹) e Widclear (0; 30, 60, 90, 120 g e.a. ha⁻¹). R² = coeficiente de determinação. n.s= não significativo (p > 0,05) para equação do 1º e 2º grau.

Fonte: elaboração própria.

Os modelos apresentaram ajuste satisfatório para a maioria das combinações entre herbicidas, variáveis e épocas de avaliação, com coeficientes de determinação (R^2) iguais ou superiores a 0,71. Ajustes de menor qualidade foram observados para a altura do fluroxipir-metílico na Época 1, em solo argiloso ($R^2 = 0,466$). Na Época 2, os modelos de altura para o fluroxipir-metílico não foram significativos ($p > 0,05$) em nenhum dos dois solos, assim como os modelos de altura e massa seca do quinclorac no solo argiloso; no solo arenoso, esses mesmos modelos do quinclorac ajustaram com baixo poder explicativo (R^2 entre 0,271 e 0,367).

Considerando o ITM, a clomazona apresentou os menores valores de ED_{10} (13,63 g i.a. ha^{-1}) e ED_{20} (28,08 g i.a. ha^{-1}), respectivamente. O fluroxipir-metílico apresentou comportamento intermediário, com ED_{10} e ED_{20} estimadas em 23,00 e 46,00 g e.a. ha^{-1} , respectivamente. Em contraste, o quinclorac apresentou as maiores doses efetivas ($ED_{10} = 43,00$ e $ED_{20} = 92,86$ g i.a. ha^{-1}), indicando maior tolerância da cultura e menor potencial de injúria entre os herbicidas avaliados em pré-emergência.

Para altura de plantas e massa seca da parte aérea, a resposta às doses variou em função do herbicida, da época experimental e, em menor intensidade, das condições do solo. A clomazona apresentou comportamento semelhante entre os solos para ambas as variáveis nas duas épocas de avaliação. Para o quinclorac, diferenças entre os tipos de solo foram observadas para massa seca e altura de plantas na segunda época experimental, enquanto para o fluroxipir-metílico essa diferença ocorreu apenas na primeira época para altura de plantas. De modo geral, as estimativas de ED_{10} e ED_{20} confirmaram a tendência observada nas avaliações de fitotoxicidade visual e no ITM, reforçando a maior tolerância da cultura ao quinclorac e a maior sensibilidade à clomazona.

3.2 Pós-emergência

Em pós-emergência, a resposta da *Brassica carinata* variou amplamente entre os herbicidas avaliados, sendo influenciada principalmente pela dose e pela época experimental (Tabela 5). De modo geral, os sintomas de fitotoxicidade intensificaram-se com o aumento das doses, embora a magnitude da resposta tenha sido distinta entre os herbicidas, evidenciando diferenças no nível de tolerância das plantas.

Tabela 5 - Fitotoxicidade visual de *Brassica carinata* submetida à aplicação de doses crescentes de herbicidas em pós-emergência, em duas épocas experimentais.

Herbicida	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Época 1				Época 2			
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Atectra® (Dicamba)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	45	3,5 b	4,75 b	4,5 b	6,0 b	2,0 a	3,0 b	4,0 b	4,0 b
	90	4,0 b	5,0 b	7,2 c	8,5 c	4,2 b	7,5 c	7,75 c	8,0 c
	180	4,0 b	6,0 c	9,0 d	9,0 c	4,7 b	8,2 d	8,7 c	9,0 c
	360	4,0 b	8,2 d	9,0 d	9,0 c	6,5 c	8,2 d	8,7 c	9,0 c
Média geral		3,3	5,0	6,1	6,7	3,7	5,6	6,0	6,2
C.V(%)		6,7	6,3	8,1	15,9	17,8	6,9	8,8	8,3
Elevore® (halauxifen o-metílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	5,7	2,5 b	6,2 b	7,5 b	7,0 b	2,0 ab	3,0 b	3,0 b	3 b
	7,1	3,2 b	6,5 b	8,5 b	8,5 b	3,0 bc	3,5 b	4,5 c	4,5 c
	10,7	3,0 b	5,5 b	8,0 b	6,5 b	2,5bc	3,5 b	4,5 c	4,75 c
	12,3	3,5 b	5,5 b	8,0 b	6,5 b	3,25c	3,5 b	5,0 c	5,0 c
Média geral		2,6	4,9	6,6	5,8	2,3	2,9	3,6	3,6
C.V(%)		21,2	17,9	12,4	19,1	21,9	15,4	10,1	9,7
Facet® (quinclorac)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	47	2,0 b	2,0 b	2,0 b	2,0 b	2,0 b	2,0 b	2,0 b	2,0 b
	93,8	2,0 b	2,5 bc	2,5 b	2,5 b	1,7 b	2,0 b	2,0 b	2,0 b
	187,5	3,0 c	3,0 cd	3,7 c	3,7 c	2,0 b	2,7 b	2,7 c	3,0 c
	375	3,0 c	3,5 d	4,0 c	4,0 c	2,0 b	2,7 b	3,5 d	4,2 d
Média geral		2,2	2,4	2,6	2,65	1,7	2,1	2,2	2,4
C.V(%)		0,0	15,2	12,9	12,9	12,9	15,1	15,2	9,1
Gapper® (florpirauxi feno- benzílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	5,7	1,6 ab	2,4 ab	2,5 ab	2,0 ab	2,3 a	3,2 b	3,7 b	4,5 b
	7,1	2,2 bc	3,5 ab	4,0 ab	3,5abc	4,2 b	4,2 b	4,7 b	4,7 b
	10,7	2,7 cd	5,0 b	5,2 b	5,2 c	4,2 b	4,0 b	4,2 b	4,5 b
	12,3	3,2 d	5,0 b	5,5 b	5,5 bc	4,7 b	4,2 b	4,7 b	4,7 b
Média geral		2,2	3,4	3,6	3,4	3,3	3,3	3,7	3,9
C.V(%)		18,2	46,9	42,6	44,7	17,5	15,9	25,2	22,4
Widclear® (fluroxipir- metílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	30	3,5 b	4,7 b	5,0 b	5,0 b	4,0 b	4,5 b	6,0 b	6,0 b
	60	4,0 b	9,0 c	9,0 c	9,0 c	6,2 b	8,2 c	8,7 b	9,0 b
	90	4,0 b	9,0 c	9,0 c	9,0 c	6,2 b	8,2 c	9,0 b	9,0 b
	120	4,0 b	9,0 c	9,0 c	9,0 c	5,5 b	8,2 c	9,0 b	9,0 b
Média geral		3,3	6,5	6,6	6,6	4,6	6,0	6,7	6,8
C.V(%)		13,5	10,2	9,6	9,6	24,1	21,3	23,2	22,9

Fitotoxicidade avaliada pela escala EWRC (1–9), em que 1 = ausência de injúria e 9 = morte da planta. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: elaboração própria.

Para o dicamba (Atectra®), a fitotoxicidade aumentou de forma progressiva com o incremento das doses e do período após a aplicação nas duas épocas experimentais. As doses de 180 e 360 g i.a. ha⁻¹ promoveram os maiores níveis de injúria, atingindo a nota máxima da

escala (9) a partir dos 21 DAA na Época 1 e aos 28 DAA na Época 2. Mesmo a menor dose (45 g i.a. ha⁻¹) diferiu da testemunha em praticamente todas as avaliações, evidenciando baixa tolerância da molécula para a cultura. As médias gerais de fitotoxicidade foram semelhantes entre as épocas, indicando comportamento consistente do herbicida nas diferentes condições experimentais (Tabela 5).

O halauxifeno-metílico (Elevore[®]) apresentou elevada fitotoxicidade na primeira época experimental, com todas as doses promovendo sintomas severos a partir de 14 DAA e notas entre 7,5 e 8,5 aos 21 DAA, sem diferenciação estatística entre elas. Na segunda época, entretanto, observou-se redução acentuada da injúria, cujas notas permaneceram iguais ou inferiores a 5 em todas as doses avaliadas, evidenciando forte influência das condições ambientais sobre a resposta da cultura.

O quinclorac (Facet[®]) foi o herbicida mais tolerado entre os produtos avaliados em pós-emergência. Embora a fitotoxicidade tenha aumentado gradualmente com o incremento das doses, os sintomas permaneceram baixos durante todo o período experimental, não ultrapassando notas de 4,0 e 4,2 nas Épocas 1 e 2, respectivamente, mesmo na maior dose (375 g i.a. ha⁻¹). Esse comportamento demonstra elevada tolerância da carinata ao quinclorac em comparação aos demais herbicidas.

Para o florpírauxifeno-benzílico (Gapper[®]), a fitotoxicidade também aumentou com o incremento das doses, porém em intensidade intermediária. Na primeira época, os sintomas mais expressivos ocorreram nas doses de 10,7 e 12,3 g i.a. ha⁻¹, atingindo notas próximas de 5,5 aos 28 DAA. Na segunda época, os níveis de injúria foram semelhantes ou ligeiramente superiores nas menores doses, resultando em médias gerais próximas entre as épocas, indicando menor variação da resposta da cultura em relação aos demais herbicidas.

O fluroxipir-metílico (Widclear[®]) foi um dos herbicidas que provocou os maiores níveis de fitotoxicidade em pós-emergência. A partir de 60 g e.a. ha⁻¹, as plantas atingiram a nota máxima da escala (9) já aos 14 DAA na Época 1, mantendo esse nível até o final das avaliações. Na segunda época, sintomas semelhantes foram observados a partir dos 21 DAA nas doses de 60, 90 e 120 g e.a. ha⁻¹, com a morte das plantas. Mesmo a menor dose (30 g e.a. ha⁻¹) promoveu injúria expressiva, alcançando nota 6 aos 21 e 28 DAA, confirmando a baixa seletividade desse herbicida para a cultura.

Os parâmetros das equações de regressão ajustadas para altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM), bem como as estimativas das doses efetivas responsáveis pela redução de 10 % (ED₁₀) e 20 % (ED₂₀) dessas variáveis, são apresentados na

Tabela 6. Os modelos apresentaram, de modo geral, elevado ajuste aos dados experimentais, com coeficientes de determinação superiores a 0,77 para a maioria das combinações entre herbicidas, variáveis e épocas de avaliação. Os menores coeficientes de determinação foram observados para altura e massa seca do halauxifeno-metílico na Época 2 ($R^2 = 0,641$ e $0,739$, respectivamente) e para o quinclorac na mesma época ($R^2 = 0,739$ para altura e $0,709$ para massa seca), sem comprometer a interpretação biológica das curvas de dose-resposta.

Tabela 6 - Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação (R^2) e estimativas das doses efetivas (ED_{10} e ED_{20}) para redução de 10 e 20 % da altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM) de *Brassica carinata* submetida à aplicação de herbicidas em pós-emergência.

Herbicida	Variável	Equação ajustada		R^2		ED_{10} (g i.a. ha ⁻¹)		ED_{20} (g i.a. ha ⁻¹)	
		Época 1	Época 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2
Atectra® (Dicamba)	Altura	$y = 34,4854 - 0,356066x + 7,3097 \times 10^{-4}x^2$	$y = 66,3185 - 0,627747x + 1,2384 \times 10^{-3}x^2$	0,911	0,883	9,89	10,79	20,21	22,09
	Massa seca	$y = 2,7893 - 0,029911x + 6,2372 \times 10^{-5}x^2$	$y = 7,8126 - 0,075991x + 1,5189 \times 10^{-4}x^2$	0,871	0,916	9,51	10,50	19,44	21,48
	ITM	$y = 63,9704 - 0,6178x + 0,001240x^2$		0,921		10,58		21,65	
Facet® (quinclorac)	Altura	$y = 36,4471 - 0,18797x + 3,3500 \times 10^{-4}x^2$	$y = 70,143426 - 0,050465x$	0,938	0,739	21,41	138,99	44,89	277,98
	Massa seca	$y = 2,9266 - 0,02298x + 4,4632 \times 10^{-5}x^2$	$y = 8,4841 - 0,01297x + 1,6728 \times 10^{-5}x^2$	0,914	0,709	14,28	126,12	29,20	252,24
	ITM	$y = 66,9856 - 0,1321x + 1,6464 \times 10^{-4}x^2$		0,981		59,83		129,75	
Elevore® (halauxifeno- metílico)	Altura	$y = 21,0042 - 4,3257x + 0,2730x^2$	$y = 65,1873 - 1,5565x - 0,08594x^2$	0,971	0,641	0,50	3,51	1,04	6,23
	Massa seca	n.s	$y = 8,1024 - 0,09980x - 0,02250x^2$	-	0,739	-	4,18	-	6,55
	ITM	$y = 60,9471 - 4,9210x + 0,2086x$		0,784		1,31		2,81	
Gapper® (florpirauxifeno- benzílico)	Altura	$y = 22,954749 - 1,413512$	$y = 61,114346 - 2,005495x$	0,908	0,875	1,62	3,05	3,25	6,10
	Massa seca	$y = 11,13266 - 0,424045x$	$y = 8,0170 - 0,8158x + 0,04879x^2$	0,810	0,877	2,63	1,14	5,25	2,42
	ITM	$y = 59,918215 - 2,368605x$		0,964		2,53		5,06	
Widclear® (fluroxipir- metílico)	Altura	$y = 37,3086 - 0,9104x + 5,0992 \times 10^{-3}x^2$	$y = 64,3800 - 1,4628x + 7,8056 \times 10^{-3}x^2$	0,983	0,986	4,20	4,51	8,61	9,26
	Massa seca	$y = 3,2451 - 0,07557x + 4,1032 \times 10^{-4}x^2$	$y = 7,9363 - 0,18183x + 9,7599 \times 10^{-4}x^2$	0,988	0,987	4,40	4,47	9,03	9,18
	ITM	$y = 65,4207 - 1,4994x + 8,1376 \times 10^{-3}x^2$		0,988		4,47		9,18	

Ép.1= época 1; Ép.2 = época2. Atectra (0; 45; 90; 180; 360 g i.a ha⁻¹); Facet (0; 47, 93,8, 187,5, 375 g i.a ha⁻¹); Elevore (0; 5,7; 7,1; 10,7; 12,3 g i.a ha⁻¹); Gapper (0; 5,7; 7,1; 10,7; 12,3 g i.a ha⁻¹); Widclear (0; 30, 60, 90, 120 g e.a ha⁻¹). R^2 = coeficiente de determinação. n.s= não significativo ($p > 0,05$) para equação do 1° e 2° grau.

Fonte: elaboração própria

Quanto ao índice de tolerância médio (ITM), o halauxifeno-metílico (Elevore[®]) apresentou os menores valores de ED₁₀ e ED₂₀, estimados em 1,31 e 2,81 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, indicando que pequenas doses foram suficientes para causar reduções de 10 % e 20 % nas variáveis avaliadas. Em seguida, foram observados o florpírauxifeno-benzílico (ED₁₀ = 2,53 e ED₂₀ = 5,06 g i.a. ha⁻¹) e o fluroxipir-metílico (ED₁₀ = 4,47 e ED₂₀ = 9,18 g e.a. ha⁻¹). O dicamba apresentou valores superiores aos desses três herbicidas (ED₁₀ = 10,58 e ED₂₀ = 21,65 g i.a. ha⁻¹). Em contraste, o quinclorac apresentou os maiores valores de ED₁₀ e ED₂₀, de 59,83 e 129,75 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, confirmando o padrão observado na avaliação visual de fitotoxicidade e caracterizando-o como o herbicida de maior tolerância pela cultura em pós-emergência. Os valores são apresentados em termos absolutos; a comparação proporcional em relação à menor dose testada para cada herbicida será realizada na discussão.

Para altura de plantas e massa seca da parte aérea, observou-se, de maneira geral, aumento das estimativas de ED₁₀ e ED₂₀ da primeira para a segunda época experimental, indicando menor sensibilidade da cultura aos herbicidas na segunda condução do experimento. Esse comportamento foi particularmente evidente para o quinclorac, cujo ED₁₀ para altura de plantas aumentou de 21,41 g i.a. ha⁻¹, na Época 1, para 138,99 g i.a. ha⁻¹ na Época 2, correspondendo a um incremento de aproximadamente 549 % na dose necessária para promover redução de 10 % dessa variável. Tendência semelhante foi observada para os demais herbicidas, embora com menor magnitude, o que é compatível com a menor intensidade de injúria visual registrada na segunda época experimental.

De forma geral, as estimativas de ED₁₀ e ED₂₀ foram consistentes com os resultados obtidos para fitotoxicidade visual, altura de plantas e massa seca da parte aérea, demonstrando que o índice de tolerância médio (ITM) foi eficiente para integrar essas respostas e discriminar o nível de tolerância das plantas aos herbicidas em pós-emergência para *Brassica carinata*.

4 DISCUSSÃO

O principal resultado deste estudo foi que a carinata apresentou elevada tolerância ao quinclorac tanto em pré quanto em pós-emergência, com as maiores doses efetivas estimadas pelo ITM em ambas as modalidades. Em contraste, o fluroxipir-metílico apresentou inversão de resposta entre as duas modalidades: tolerância intermediária quando aplicado ao solo, e um dos maiores níveis de fitotoxicidade quando aplicado sobre a parte aérea. Esse padrão, ausente nas demais moléculas avaliadas, indica que a via de absorção do herbicida pode ser tão

determinante para a resposta da cultura quanto seu mecanismo de ação. O halauxifeno-metílico e o florpiauxifeno-benzílico, por sua vez, foram os mais fitotóxicos via aplicação foliar.

A clomazona apresentou os maiores níveis de fitotoxicidade à carinata em pré-emergência, com aumento das injúrias em função da dose. A maior intensidade dos sintomas na Época 1 indica influência de fatores ambientais, enquanto a ausência de interação com o tipo de solo sugere pouca influência das condições do solo sobre a disponibilidade do herbicida.

Essa elevada sensibilidade é consistente com a inibição da síntese de carotenoides promovida pela inibição da 1-desoxi-D-xilulose-5-fosfato sintase (DXS), enzima-chave da via do metileritritol fosfato (MEP) (Ferhatoglu; Barrett, 2006), que expõe a clorofila à fotooxidação e resulta no branqueamento foliar característico e na redução da atividade fotossintética.

Em condições de campo, no entanto, trabalhos anteriores relatam maior tolerância de espécies de *Brassica* à clomazona em pré-emergência. Ethridge *et al.* (2021) observaram, em carinata, injúrias mínimas e tolerância aceitável, com redução de produtividade apenas em doses bem superiores à ED₁₀ estimada neste estudo. De forma semelhante, Costa *et al.* (2025) verificaram tolerância da canola à clomazona, sem prejuízos ao rendimento ou à qualidade das sementes. Essa diferença sugere que as condições de casa de vegetação podem ter favorecido maior disponibilidade da clomazona na solução do solo, o que teria aumentado a exposição das plântulas ao herbicida em relação ao campo. Diferenças nas condições ambientais durante a condução dos experimentos também podem ter contribuído para essa divergência.

O quinclorac apresentou o comportamento mais consistente entre os herbicidas de pré-emergência, com fitotoxicidade inferior à da clomazona em ambas as épocas e aumento gradual das injúrias em função da dose. Pelo ITM, o ED₁₀ do quinclorac correspondeu a 91,5 % da menor dose testada (47 g i.a. ha⁻¹), contra 76,7 % do fluroxipir-metílico (30 g e.a. ha⁻¹) e 30,3 % da clomazona (45 g i.a. ha⁻¹), confirmando menor sensibilidade da carinata ao quinclorac em relação aos outros dois herbicidas. Essa elevada tolerância contrasta com o mecanismo de ação esperado para herbicidas mimetizadores de auxina, que induzem a atividade da enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato sintase (ACC sintase) e a biossíntese de etileno em espécies sensíveis, o que leva à desregulação hormonal e à inibição do crescimento (Grossmann, 1998). A interação entre dose e tipo de solo ocorreu apenas em avaliações pontuais, o que indica influência limitada das condições do solo sobre a resposta ao herbicida.

Essa tolerância já foi observada antes na família Brassicaceae: a canola, espécie do mesmo gênero, é reconhecida na literatura como pouco sensível ao quinclorac, sendo registrada para uso comercial na cultura em pré e pós-emergência no Canadá (Saskatchewan Ministry of

Agriculture, 2023), e Costa *et al.* (2025) relataram tolerância semelhante em condições de campo no Brasil. A elevada tolerância da carinata observada neste estudo é, portanto, consistente com um padrão já documentado no gênero *Brassica*, o que indica que mecanismos fisiológicos próprios das espécies do gênero podem estar envolvidos.

A resposta do fluroxipir-metílico variou com a época experimental; na primeira época, variou ainda com o tipo de solo, havendo interação significativa entre dose e as condições do solo em toda a Época 1, com sintomas mais intensos no solo arenoso. Na Época 2, a resposta não diferiu entre os solos e a fitotoxicidade máxima foi consideravelmente inferior à da primeira época. Esse padrão está de acordo com as propriedades do fluroxipir-metílico no solo: apresenta baixa afinidade de sorção e maior mobilidade em solos com menor teor de argila e matéria orgânica (Tao; Yang, 2011), características que favorecem sua disponibilidade e absorção pelas raízes das plântulas nessas condições.

Embora estudos com fluroxipir-metílico em *Brassica* ainda sejam escassos, a clopiralida, herbicida quimicamente relacionado (ácidos piridinocarboxílicos), é bem tolerada tanto pela carinata quanto pela canola (Ethridge *et al.*, 2021; Swanton; Chandler, 1989) embora a relação estrutural entre as duas moléculas seja apenas parcial. A tolerância intermediária ao fluroxipir-metílico observada neste estudo sugere que, mesmo entre herbicidas do mesmo subgrupo químico, pequenas diferenças estruturais podem resultar em respostas distintas da cultura.

Em pós-emergência, todos os herbicidas avaliados atuam por absorção foliar, o que permite verificar se essa via de entrada, distinta da aplicada ao solo em pré-emergência, influencia de forma diferente a resposta da cultura a cada molécula.

Em pós-emergência, o dicamba causou fitotoxicidade relevante à carinata, com dose efetiva estimada pelo ITM ($ED_{10} = 10,58 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) correspondente a 24 % da menor dose testada ($45 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), indicando sensibilidade intermediária entre os herbicidas avaliados. Essa resposta é consistente com seu mecanismo de ação: a percepção pelos receptores TIR1 e AFB5 desencadeia a indução de genes relacionados à biossíntese de etileno e ácido abscísico poucas horas após a aplicação, o que resulta em crescimento desordenado, epinastia e senescência (Gleason; Foley; Singh, 2011). A intensidade dessa resposta também depende da capacidade de absorver, translocar e metabolizar o herbicida, processos que variam entre espécies (Chang; Vanden Born, 1971; Meyer *et al.*, 2020). Não foram identificados estudos de campo com dicamba especificamente em carinata.

Em canola, Costa *et al.* (2025) relataram resultados promissores com dicamba, sem impactos no rendimento ou na qualidade de grãos. Assim como observado para a clomazona, é possível que as condições de casa de vegetação tenham ampliado a exposição das plantas ao herbicida em relação ao campo.

O halauxifeno-metílico e o florpiauxifeno-benzílico foram os herbicidas mais fitotóxicos em pós-emergência, com as menores doses efetivas estimadas pelo ITM ($ED_{10} = 1,31$ e $2,53$ g i.a. ha^{-1} , respectivamente), ambas abaixo da menor dose comercial recomendada para os dois produtos. A maior afinidade desses herbicidas pelo receptor AFB5, em relação ao TIR1, (Epp *et al.*, 2016), diferencia-os dos demais mimetizadores de auxina e pode contribuir para essa maior sensibilidade. Nas condições avaliadas, esses resultados indicam baixa viabilidade desses herbicidas para aplicações em pós-emergência na carinata.

Apesar disso, há relatos de uso do halauxifeno-metílico em outras Brassicáceas: o herbicida é registrado no Canadá para uso em pré-semeadura de canola e mostarda (Health Canada, 2020). Embora essa modalidade não permita comparação direta com a pós-emergência, ela mostra que o herbicida pode ser utilizado nessas culturas sob manejo específico. Para o florpiauxifeno-benzílico, não foram identificados estudos em *Brassica*, o que evidencia a necessidade de pesquisas específicas sobre a tolerância dessa molécula em espécies do gênero.

Assim como em pré-emergência, o quinclorac apresentou elevada tolerância em pós-emergência, com o ED_{10} estimado pelo ITM ($59,83$ g i.a. ha^{-1}) superior à própria menor dose testada (47 g i.a. ha^{-1}), sendo o único entre os cinco herbicidas de pós-emergência a apresentar essa margem, e com resposta menos intensa na segunda época. O fluroxipir-metílico, em contraste, apresentou baixa dose efetiva nessa modalidade ($ED_{10} = 4,47$ g e.a. ha^{-1} , equivalente a apenas 15 % da menor dose testada), bem inferior à observada em pré-emergência, o que evidencia essa inversão de comportamento entre as duas modalidades de aplicação. Esse comportamento é consistente com a via de absorção do herbicida: em pré-emergência, parte do produto aplicado ao solo pode ser adsorvida ou permanecer indisponível para absorção radicular, enquanto em pós-emergência a aplicação foliar direta elimina essa limitação, o que permite absorção mais eficiente e resposta mais rápida. Esse padrão tem precedente em outra Brassicácea: Cogdill (2013) observou injúria severa à canola com fluroxipir em pós-emergência precoce, enquanto os demais herbicidas testados não causaram injúria visível, resultado que reforça a elevada sensibilidade da carinata observada neste estudo. Esse resultado indica que recomendações de uso do fluroxipir-metílico não devem ser extrapoladas entre aplicações em pré e pós-emergência.

Na carinata, o ITM confirmou o mesmo padrão indicado pela fitotoxicidade visual: os herbicidas mais fitotóxicos visualmente também apresentaram as menores doses efetivas. Ainda assim, o índice permitiu quantificar com maior precisão a magnitude dessas diferenças, especialmente para o fluroxipir-metílico, cuja inversão de comportamento entre pré e pós-emergência era apenas sugerida pela escala visual.

Em pré-emergência, a fitotoxicidade foi consistentemente maior na Época 1 para os três herbicidas avaliados. Dados da estação meteorológica de Lavras (INMET, 2025) indicam que setembro apresentou temperatura média inferior à de novembro, resultado compatível com a hipótese de que temperaturas mais baixas reduzem o metabolismo dos herbicidas na planta e prolongam a exposição das plântulas (Bough; Gaines; Dayan, 2022).

Ao contrário da pré-emergência, o efeito da época experimental foi menos consistente em pós-emergência: apenas o halauxifeno-metílico mostrou diferença marcante entre as épocas, com fitotoxicidade elevada na primeira e sensivelmente menor na segunda. Os demais herbicidas mantiveram resposta semelhante entre as épocas, o que indica que sua resposta foi determinada principalmente pela dose e pelo mecanismo de ação, com menor influência ambiental na modalidade foliar.

Entre os seis ingredientes ativos avaliados, o quinclorac foi o único cujo ED_{10} superou a própria menor dose testada em pós-emergência, destacando-se como o principal candidato à validação em campo nas duas modalidades de aplicação. Os demais ingredientes ativos de pós-emergência apresentaram tolerância proporcional inferior à do quinclorac, em ordem crescente: fluroxipir-metílico (15 % da menor dose testada), halauxifeno-metílico (23 %), dicamba (24 %) e florpiauxifeno-benzílico (44 %). Ainda assim, a clomazona em pré-emergência e o dicamba em pós-emergência, apesar de fitotóxicos nas condições deste estudo, apresentaram desempenho intermediário, o que reforça a necessidade de estudos a campo antes de descartar esses ingredientes ativos.

Os resultados obtidos em casa de vegetação constituem uma etapa preliminar e necessária para a caracterização inicial da tolerância da carinata aos herbicidas avaliados. Estudos futuros conduzidos em condições de campo, com monitoramento de temperatura, permitirão confirmar a contribuição relativa desse fator às diferenças observadas entre épocas, além de avaliar produtividade e qualidade de sementes, variáveis essenciais para consolidar recomendações de manejo para a cultura.

Em conjunto, os resultados mostram que a tolerância da carinata aos herbicidas depende do ingrediente ativo e da dose, e pode ser influenciada pela modalidade de aplicação, pela época

experimental e pelas características do solo, conforme o ingrediente ativo avaliado. O quinclorac destacou-se como a alternativa mais promissora para aplicações em pré e pós-emergência. O comportamento contrastante do fluroxipir-metílico demonstrou que a via de absorção pode ser tão importante quanto o mecanismo de ação na resposta da cultura. Já o halauxifeno-metílico e o florpírauxifeno-benzílico exigem cautela mesmo em doses reduzidas nas duas modalidades de aplicação. Esses resultados fornecem uma base para a seleção de herbicidas e faixas de dose prioritárias para validação em campo e contribuem para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais seguras para a cultura da carinata.

5 CONCLUSÃO

A carinata apresentou tolerância ao quinclorac em pré e pós-emergência, sendo o ingrediente ativo com maior margem de tolerância entre os avaliados e o principal candidato à validação em campo nas duas modalidades. Em pré-emergência, a cultura apresentou maior sensibilidade à clomazona, enquanto o fluroxipir-metílico proporcionou resposta intermediária, com influência das condições de solo e da época experimental. Em pós-emergência, a carinata apresentou baixa tolerância ao dicamba, ao halauxifeno-metílico e ao florpírauxifeno-benzílico, sendo os dois últimos responsáveis por reduções no crescimento mesmo em doses baixas. O fluroxipir-metílico apresentou comportamento distinto entre as modalidades, com maior tolerância em pré-emergência e baixa tolerância em pós-emergência, com comprometimento da cultura a partir de 60 g e.a. ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.
- BASSEGIO, D.; ZANOTTO, M. D. Growth, yield, and oil content of Brassica species under Brazilian tropical conditions. **Bragantia**, v. 79, n. 2, p. 203-212, 2020. DOI: 10.1590/1678-4499.20190411.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **AGROFIT**. Brasília, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- BRASIL. Lei nº 14.993, de 15 de julho de 2024. Institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jul. 2024.

BUSI, R.; GOGGIN, D. E.; HEAP, I. M.; HORAK, M. J.; JUGULAM, M.; MASTERS, R. A.; NAPIER, R. M.; RIAR, D. S.; SATCHIVI, N. M.; TORRA, J.; WESTRA, P.; WRIGHT, T. R. **Weed resistance to synthetic auxin herbicides**. *Pest Management Science*, v. 74, n. 10, p. 2265-2276, 2018. DOI: 10.1002/ps.4823.

CAMPBELL, B.; SEEPAL, R.; IBOYI, J. *et al.* Agronomic performance and the effect of genotype-by-environment interaction for *Brassica carinata* in the southeastern US. **Industrial Crops and Products**, v. 203, 2023. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117196.

CARVALHO, S. J. P.; ROSSI, C. V. S.; MELO, M. S. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; KAGI, F. Y. Modifications on labels and leaflets of herbicides for preventing and managing resistance. **Planta Daninha**, v. 37, e019221645, 2019. DOI: 10.1590/S0100-83582019370100149.

CHANG, F. Y.; VANDEN BORN, W. H. Dicamba uptake, translocation, metabolism, and selectivity. **Weed Science**, v. 19, p. 113-117, 1971. DOI: 10.1017/S0043174500048414.

CHRISTOFFOLETI, P. J. (coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas (HRAC-BR), 2016.

CICILIANO, L. G.; SANTOS, L. K. dos; LAVIOLA, B. G.; FAVARO, S. P. Quantificação e caracterização de óleos de canola, carinata e crambe produzidos no Centro-Oeste brasileiro. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 7., 2023, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 72-76.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; OLIVEIRA, N. T. de. Manejo integrado de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 67-78.

COSTA, N.; PIMENTEL, G. V.; CHALES, A. S.; SILVA, L. D. R. da; WATANABE, E. da C. S.; GONÇALVES, A. H. Herbicide selectivity and efficacy in weed control in canola production system. **Crop Protection**, v. 193, p. 107207, 2025. DOI: 10.1016/j.cropro.2025.107207.

CQFS-RS/SC (Comissão de Química e Fertilidade do Solo – Núcleo Regional Sul). **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

DWIVEDI, P. Sustainable aviation fuel production from *Brassica carinata* in the Southern United States. **GCB Bioenergy**, v. 13, n. 12, p. 1854-1858, 2021. DOI: 10.1111/gcbb.12900

EPP, J. B.; ALEXANDER, A. L.; BALKO, T. W.; BUYSSE, A. M.; BREWSTER, W. K. *et al.* The discovery of Arylex™ active and Rinskor™ active: two novel auxin herbicides. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, v. 24, n. 3, p. 362-371, 2016. DOI:10.1016/j.bmc.2015.08.011.

ETHRIDGE, S. R.; POST, A.; DEVKOTA, P.; MULVANEY, M. J.; LEON, R. G. Characterization of carinata tolerance to select herbicides using field dose-response studies. **Weed Technology**, v. 35, n. 6, p. 957-966, 2021. DOI: 10.1017/wet.2021.57.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL (EWRC). Committee of Methods in Weed Research. Report of the 3rd and 4th meetings of the EWRC Committee of Methods in Weed Research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964. DOI: 10.1111/j.1365-3180.1964.tb00275.x.

FERHATOGLU, Y.; BARRETT, M. Studies of clomazone mode of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 85, n. 1, p. 7-14, 2006. DOI: 10.1016/j.pestbp.2005.10.002.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs**. Brazilian Journal of Biometrics, v. 37, n.4 p. 529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

FIPKE, M. V.; VIDAL, R. A. Integrative theory of the mode of action of quinclorac: literature review. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 393-402, 2016. DOI: 10.1590/S0100-83582016340200020.

GAMAYUNOVA, V.; KHONENKO, L.; MYKOLAICHUK, V.; KUVSHINOVA, A. Prospects and directions of diversification of oilseed group crops. **Scientific Horizons**, v. 27, n. 10, p. 102-112, 2024. DOI: 10.48077/scihor10.2024.102.

GLEASON, C.; FOLEY, R. C.; SINGH, K. B. Mutant analysis in Arabidopsis provides insight into the molecular mode of action of the auxinic herbicide dicamba. **PLoS ONE**, v. 6, n. 3, e17245, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0017245.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2010. DOI: 10.1002/ps.1860.

GROSSMANN, K. Quinclorac belongs to a new class of highly selective auxin herbicides. **Weed Science**, v. 46, n. 6, p. 707-716, 1998. DOI: 10.1017/S004317450008975X.

GUIMARÃES, C. G.; CANDIDO, W. dos S.; SANTOS, L. K. dos; FAVARO, S. P.; LAVIOLA, B. G. Desempenho agrônômico de *Brassicac* na região do Cerrado: uma alternativa para biocombustíveis. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 7., 2023, Brasília, DF. Anais [...]. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 12.

HEALTH CANADA. **Halauxifen-methyl**. Ottawa: Pest Management Regulatory Agency, 2020. (H113-24/2020-30E-PDF). Disponível em: publications.gc.ca.

HEUSTON, P.; MACPHERSON, M. **Weed control in winter crops 2023**. Orange: NSW Department of Primary Industries, 2023. 82 p. Disponível em: <https://www.dpi.nsw.gov.au>. Acesso em: 23 junho de 2026.

HOSSAIN, Z.; JOHNSON, E. N.; BLACKSHAW, R. E.; LIU, K.; KAPINIAK, A.; GAMPE, C.; MOLNAR, L.; LUAN, L.; POPPY, L.; GAN, Y. Agronomic responses of *Brassica carinata* to herbicide, seeding rate, and nitrogen on the Northern Great Plains. **Crop Science**, v. 58, n. 6, p. 2633-2643, 2018. DOI: 10.2135/cropsci2018.05.0312.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 22 jul. 2026.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2025: Executive Summary**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025/executive-summary>. Acesso em: 04 jun. 2026.

- JOHNSON, J. M.-F.; FRANZLUEBBERS, A. J.; WEYERS, S. L.; REICOSKY, D. C. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. **Environmental Pollution**, v. 150, p. 107-124, 2007. DOI: 10.1016/j.envpol.2007.06.030.
- LUDWIG-MÜLLER, J.; RATTUNDE, R.; RÖßLER, S.; LIEDEL, K.; BENADE, F.; ROST, A.; BECKER, J. Two auxinic herbicides affect *Brassica napus* plant hormone levels and induce molecular changes in transcription. **Biomolecules**, v. 11, n. 8, art. 1153, 2021. DOI: 10.3390/biom11081153.
- MASUM, F. H.; COPPOLA, E.; FIELD, J. L.; GELLER, D.; GEORGE, S.; MILLER, J. L.; MULVANEY, M. J.; NANA, S.; SEEPAUL, R.; SMALL, I. M.; WRIGHT, D.; DWIVEDI, P. Supply chain optimization of sustainable aviation fuel from carinata in the Southern United States. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 171, art. 113032, 2023. DOI: 10.1016/j.rser.2022.113032.
- MCVETTY, P. B. E.; DUNCAN, R. W. Canola, rapeseed and mustard: for biofuels and bioproducts. In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (ed.). **Industrial crops: handbook of plant breeding**, v. 9, p. 133-156, 2015 DOI: 10.1007/978-1-4939-1447-0_7.
- MEYER, C. J.; PETER, F.; NORSWORTHY, J. K.; BEFFA, R. Uptake, translocation, and metabolism of glyphosate, glufosinate, and dicamba mixtures in *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus palmeri*. **Pest Management Science**, v. 76, n. 9, p. 3078-3087, 2020. DOI: 10.1002/ps.5859.
- NORSWORTHY, J. K.; SMITH, J. P. Tolerance of direct-seeded leafy greens to herbicides applied before or after crop emergence. **Crop Protection**, v. 26, n. 8, p. 1158-1165, 2007. DOI: 10.1016/j.cropro.2006.10.010.
- OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; INOUE, M. H. **Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas**. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (ed.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 243-262.
- ORTMEIER-CLARKE, H. J.; OLIVEIRA, M. C.; ARNESON, N. J.; CONLEY, S. P.; WERLE, R. Dose-response screening of industrial hemp to herbicides commonly used in corn and soybean. **Weed Technology**, v. 36, n. 2, p. 245-252, 2022. DOI: 10.1017/wet.2021.105.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 531 p.
- SARANYA, S.; SATHYANARAYANA, E.; TRIPATHI, A.; SINGH, S.; BHARGHAVI, J.; RAJASHEKHAR, M.; VEERANNA, J. Effect of different pre- and post-emergent application of herbicides on the growth and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). **The Pharma Innovation**, v. 11, n. 1, p. 1955-1957, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22271/tpi.2022.v11.i1aa.11259>
- SASKATCHEWAN MINISTRY OF AGRICULTURE. **Guide to crop protection: for the chemical management of weeds, plant diseases and insects**. Regina: Saskatchewan Ministry of Agriculture, 2023. 866 p. Disponível em: <https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and->

industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/crops-and-irrigation/crop-guides-and-publications/guide-to-crop-protection. Acesso em: 22 jun. 2026.

SCOTT, J. E.; WESTON, L. A. Cole crop (*Brassica oleracea*) tolerance to clomazone. **Weed Science**, v. 40, n. 1, p. 7-11, 1992. DOI: 10.1017/S0043174500056861.

SEEPAUL, R.; SMALL, I. M.; MULVANEY, M. J.; GEORGE, S.; LEON, R. G.; GELLER, D.; *et al.* **Carinata, the sustainable crop for a bio-based economy: 2018–2019 production recommendations for the Southeastern United States**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS Extension), 2019. 12 p.

SEEPAUL, R.; KUMAR, S.; IBOYI, J. E.; BASHYAL, M.; STANSKY, T. L.; BENNETT, R.; BOOTE, K. J.; MULVANEY, M. J.; SMALL, I. M.; GEORGE, S.; WRIGHT, D. L. *Brassica carinata*: biology and agronomy as a biofuel crop. *GCB Bioenergy*, v. 13, n. 4, p. 582-599, 2021. DOI: 10.1111/gcbb.12804.

SHEKHAWAT, K.; RATHORE, S. S.; PREMI, O. P.; KANDPAL, B. K.; CHAUHAN, J. S. Advances in Agronomic Management of Indian Mustard (*Brassica juncea* (L.) Czernj. Cosson): An Overview. **International Journal of Agronomy**, v. 2012, p. 1-14, 2012. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ija/2012/408284/>. Acesso em: 28 maio 2026.

SINGH, R. K.; SINGH, R. P.; SINGH, M. K. Weed management in rapeseed-mustard: a review. **Agricultural Reviews**, v. 34, n. 1, p. 36-49, 2013.

SILVA, A. N.; HOLDEFER, B.; OLIVEIRA, D. S.; DICKEL, I. C. H.; PRADO, M. T. S. Herbicidas pré-emergentes como ferramenta estratégica no manejo integrado de plantas daninhas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 22, n. 54, p. 94-126, 2025. DOI: 10.18677/EnciBio_2025D6.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 13. ed. Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2022.

SWANTON, C. J.; CHANDLER, K. Control of wild mustard in canola with POST herbicides. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 69, p. 889-896, 1989. DOI: 10.4141/cjps89-103.

TAO, L.; YANG, H. Fluroxypyr biodegradation in soils by multiple factors. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 175, p. 227-238, 2011. DOI: 10.1007/s10661-010-1508-2.

TEIXEIRA, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual of soil analysis methods**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.

TIWARI, R.; REINHARDT PISKACKOVA, T. A.; DEVKOTA, P.; MULVANEY, M. J.; FERRELL, J. A.; LEON, R. G. Growing winter *Brassica carinata* as part of a diversified crop rotation for integrated weed management. *GCB Bioenergy*, v. 13, n. 3, p. 425-435, 2021. DOI: 10.1111/gcbb.12799.

YERNAIDU, Y.; REDDY, G. R. M.; SRIRAM, K.; BABU, M. E. K.; SRAVANI, P.
Optimizing weed control: a review of integrated weed management in mustard (*Brassica juncea* L.). **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 46, n. 5, p. 654-671, 2024. DOI: 10.9734/jeai/2024/v46i52420.



ARTIGO 2

**TOLERÂNCIA DE *Brassica juncea* L. Czern A HERBICIDAS
APLICADOS EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA**
TOLERANCE OF *Brassica juncea* L. Czern TO PRE- AND POST-EMERGENCE
HERBICIDES²

Ana Luiza Pereira Ferreira

0009-0001-0492-3879

Natália Costa

0000-0003-3864-1551

Luiz Daniel Rodrigues da Silva

0000-0003-2703-0026

Gionanna Guerra Zutin

0009-0002-3493-3135

Christiane Augusta Diniz Melo

0000-0001-6385-2153

Guilherme Vieira Pimentel

0000-0001-9849-6427

Resumo: A tolerância da mostarda-indiana a herbicidas ainda é pouco documentada, o que limita as opções de controle químico para a cultura. Assim, objetivou-se avaliar a tolerância da mostarda-indiana a diferentes doses de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência, bem como a influência das condições do solo sobre a resposta da cultura. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, com quatro repetições. Em pré-emergência, o delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×5 (duas condições de solo $\times$ cinco doses), avaliando-se clomazona, quinclorac e fluroxipir-metílico em duas condições de solo, em duas épocas experimentais. Em pós-emergência, o delineamento foi inteiramente casualizado, com cinco doses, avaliando-se separadamente dicamba, quinclorac, halauxifeno-metílico, florpírauxifeno-benzílico e fluroxipir-metílico. A tolerância foi avaliada por fitotoxicidade visual, altura de plantas, massa seca da parte aérea, doses efetivas para reduzir em 10 % e 20 % as variáveis avaliadas e pelo Índice de Tolerância Médio (ITM). Em pré-emergência, a dose efetiva estimada pelo ITM para reduzir em 10 % a resposta da mostarda-indiana foi de 32,96 g i.a. ha⁻¹ para o quinclorac e de 11,96 g i.a. ha⁻¹ para a clomazona, e as respostas aos ingredientes ativos não variaram entre as condições de solo. Em pós-emergência, não foi possível estimar a ED₁₀ pelo ITM para o halauxifeno-metílico, devido à ausência de redução de crescimento suficiente nas doses avaliadas. Para o quinclorac, a ED₁₀ estimada pelo ITM foi de 98,53 g i.a. ha⁻¹, enquanto o fluroxipir-metílico apresentou redução da resposta da cultura correspondente a 19,6 % da menor dose testada. Os resultados demonstram que a resposta da mostarda-indiana

² Artigo científico apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal.

aos herbicidas varia em função do ingrediente ativo e da dose, sendo necessários estudos em condições de campo para validar as respostas observadas em casa de vegetação.

Palavras-chave: Mostarda-indiana; Halauxifeno-metílico; Quinclorac; Herbicidas auxínicos; Índice de tolerância médio.

Abstract: The tolerance of Indian mustard to herbicides is still poorly documented, limiting chemical weed control options for the crop. Therefore, this study aimed to evaluate the tolerance of Indian mustard to different herbicide rates applied pre- and post-emergence, as well as the influence of soil texture on crop response. The experiments were conducted under greenhouse conditions, with four replications. In pre-emergence, a randomized complete block design was used in a 2×5 factorial arrangement (two soil conditions $\times$ five herbicide rates), with clomazone, quinclorac, and fluroxypyr-methyl evaluated individually under two soil conditions in two experimental periods. In post-emergence, a completely randomized design with five herbicide rates was used to evaluate dicamba, quinclorac, halauxifen-methyl, florpyrauxifen-benzyl, and fluroxypyr-methyl individually. Tolerance was assessed based on visual crop injury, plant height, shoot dry mass, effective doses required to reduce the evaluated variables by 10 % and 20 %, and the Mean Tolerance Index (MTI). In pre-emergence, the effective dose estimated by the MTI to reduce Indian mustard response by 10 % was 32.96 g a.i. ha⁻¹ for quinclorac and 11.96 g a.i. ha⁻¹ for clomazone, and crop responses to the active ingredients did not vary between soil conditions. In post-emergence, the ED₁₀ could not be estimated by the MTI for halauxifen-methyl because the evaluated rates did not cause sufficient growth reduction. For quinclorac, the ED₁₀ estimated by the MTI was 98.53 g a.i. ha⁻¹, whereas fluroxypyr-methyl resulted in a crop response reduction corresponding to 19.6 % of the lowest rate tested. The results demonstrate that Indian mustard response to herbicides varies according to the active ingredient and rate, and field studies are required to validate the responses observed under greenhouse conditions.

Keywords: Indian mustard; Halauxifen-methyl; Quinclorac; Auxin herbicides; Mean tolerance index.

1 INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de óleo vegetal para fins alimentícios, industriais e energéticos tem ampliado o interesse por oleaginosas capazes de diversificar a oferta de matéria-prima nos sistemas agrícolas, entre elas a mostarda-indiana [*Brassica juncea* (L.) Czern.], cultivada principalmente na Índia e com relevância agrícola também no Canadá, na China, na Rússia e na Austrália (Verma *et al.*, 2024).

No Brasil, o interesse pela espécie tem crescido em razão da busca por matérias-primas para biocombustíveis; seu uso, no entanto, ainda se restringe a pequena escala como hortaliça, com informações limitadas sobre seu manejo agrônomo como oleaginosa industrial (Madalena *et al.*, 2017). Em estudo conduzido sob clima Cwa, Bassegio e Zanotto (2020) obtiveram rendimento de óleo de até 910 kg ha⁻¹ com material de perfil industrial, evidenciando seu potencial para produção de biodiesel.

Além do potencial produtivo, características agronômicas da espécie favorecem sua inserção em novos sistemas de produção. Originária de regiões semiáridas da Índia, a mostarda-indiana apresenta maior tolerância a altas temperaturas e ao déficit hídrico do que a canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), principal brássica oleaginosa cultivada comercialmente no Brasil (Wright *et al.*, 1995), ampliando seu potencial de cultivo em áreas onde a canola apresenta limitações de desempenho.

Essa vantagem adaptativa, contudo, não elimina a necessidade de manejo eficaz de plantas daninhas para a expansão da cultura. A competição é mais intensa nas primeiras quatro a seis semanas após a semeadura, e a ausência de controle nesse período pode reduzir a produtividade em até 45 %, chegando a 70 % sob altas infestações (Singh *et al.*, 2013). No Brasil, o controle químico permanece limitado: apenas fluazifope-P-butílico, para gramíneas, e glufosinato de amônio, em jato dirigido, possuem registro para uso em pós-emergência, não havendo herbicidas seletivos para controle de plantas daninhas de folhas largas ou produtos registrados para aplicação em pré-emergência (Brasil, 2026). Além da ausência de registro, não há estudos publicados sobre a tolerância de *B. juncea* a herbicidas utilizados para o controle de folhas largas nas condições brasileiras, o que impede a recomendação segura de qualquer molécula para a cultura.

Essa lacuna é particularmente relevante para a inserção da mostarda-indiana em rotação com culturas como a soja, onde espécies como *Amaranthus* spp., *Conyza* spp. e *Bidens pilosa* apresentam elevada ocorrência e resistência documentada a herbicidas no Brasil (Adegas *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2021). Entre os herbicidas capazes de controlar plantas daninhas de folhas largas, os mimetizadores de auxina destacam-se pela eficácia em baixas doses, inclusive sobre biótipos resistentes a outros mecanismos de ação (Epp *et al.*, 2016). Por atuarem sobre processos regulados por auxinas vegetais, no entanto, esses herbicidas também podem afetar culturas eudicotiledôneas, como a própria mostarda-indiana, tornando sua tolerância uma questão central a ser investigada.

A seleção das moléculas avaliadas neste estudo seguiu três níveis de evidência: histórico de uso na própria espécie, pertencimento a um grupo químico com potencial reconhecido para controle de plantas daninhas de folhas largas, e referências obtidas em culturas próximas. Na Índia, pendimetalina, trifluralina, flucloralina e isoproturon integram o controle químico da mostarda-indiana há décadas (Singh *et al.*, 2013); no Canadá, clomazona, quinclorac e halauxifeno-metílico possuem registro para uso na cultura em pré-emergência, pós-emergência e pré-semeadura, respectivamente (Saskatchewan Mustard Development Commission, 2025).

Para as demais moléculas, sem histórico direto de uso na espécie, a evidência disponível vem de fontes complementares. O dicamba, amplamente utilizado no Brasil em culturas como soja e milho, não possui dados de tolerância publicados para a mostarda-indiana; estudos conduzidos em canola oferecem uma primeira referência para essa avaliação (Costa *et al.*, 2025). O fluroxipir-metílico e o florpírauxifeno-benzílico foram incluídos por representarem alternativas auxínicas utilizadas no controle de folhas largas em culturas agrícolas brasileiras (Brasil, 2026), permitindo avaliar seu potencial de uso em uma espécie ainda sem recomendações estabelecidas.

Diante da ausência de recomendações para a cultura, a avaliação da tolerância torna-se etapa inicial para identificar moléculas com potencial de uso. A tolerância corresponde à capacidade inata da cultura de suportar a aplicação de um herbicida sem prejuízos significativos ao crescimento e à produtividade, podendo estar relacionada a diferenças na absorção, translocação, metabolização ou compartimentalização do ingrediente ativo, além da disponibilidade do produto no solo (Christoffoleti *et al.*, 2016; Oliveira Junior, 2011).

Essa resposta varia conforme a modalidade de aplicação: herbicidas pré-emergentes têm comportamento condicionado pelas características do solo, enquanto os pós-emergentes dependem principalmente da absorção foliar e da translocação na planta (Silva *et al.*, 2025; Carvalho, 2013). A avaliação em doses crescentes, em ambas as modalidades, permite estabelecer curvas de dose-resposta e identificar os limites de tolerância da cultura (Constantin; Oliveira Junior; Oliveira, 2011).

A hipótese deste estudo é que a tolerância de *B. juncea* aos herbicidas varia em função do ingrediente ativo, do mecanismo de ação, da dose aplicada e, para herbicidas pré-emergentes, das características do solo. Objetivou-se avaliar a tolerância de *B. juncea* a diferentes herbicidas aplicados em pré e pós-emergência, considerando diferentes mecanismos de ação, doses crescentes e, nos pré-emergentes, dois tipos de solo.

2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (DAG/UFLA), em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21°13'36.10" S, 44°58'21.38" W). O clima da região é classificado como Cwa, caracterizado como subtropical úmido com influência de monções, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

Com o objetivo de avaliar a tolerância do híbrido de mostarda-indiana (*Brassica juncea* (L.) Czern.) 'Coral 014' (Advanta®) a herbicidas aplicados em pré- e pós-emergência, foram conduzidos experimentos independentes para cada ingrediente ativo. Os experimentos foram repetidos em duas épocas experimentais, permitindo verificar a consistência das respostas da cultura sob diferentes condições ambientais

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados (DBC) em pré-emergência e inteiramente casualizado (DIC) em pós-emergência, com cinco doses e quatro repetições. Ao todo foram realizados 16 experimentos independentes, sendo seis experimentos em pré-emergência (três herbicidas em duas épocas) e 10 experimentos em pós-emergência (cinco herbicidas em duas épocas). Os experimentos em pré-emergência foram instalados em setembro e repetidos em novembro de 2025, enquanto aqueles conduzidos em pós-emergência foram instalados em setembro de 2025 e repetidos em fevereiro de 2026 (Tabela 1).

Tabela 1 - Herbicidas avaliados, modalidade de aplicação e doses testadas.

Herbicida (p.c)	Ingrediente ativo (i.a.)	Modalidade	Doses testadas (g i.a. ha ⁻¹)
Facet®	Quinclorac	Pré e pós	0; 47; 93,8; 187,5; 375
Gamit®	Clomazona	Pré	0; 45; 90; 180; 360
Widclear®	Fluroxipir-metílico	Pré e pós	0; 30; 60; 90; 120*
Atectra®	Dicamba	Pós	0; 45; 90; 180; 360
Elevore®	Halauxifeno-metílico	Pós	0; 5,7; 7,1; 10,7; 12,3
Gapper®	Florpirauxifeno-benzílico	Pós	0; 5,7; 7,1; 10,7; 12,3

p.c. = produto comercial; i.a. = ingrediente ativo; * equivalente ácido.

Fonte: elaboração própria.

Para o quinclorac, o dicamba e a clomazona, as doses foram baseadas em Costa *et al.* (2025), que avaliou esses ingredientes ativos na cultura da canola, espécie da mesma família botânica das culturas estudadas. Para o halauxifeno-metílico e o florpirauxifeno-benzílico, as doses testadas corresponderam à faixa de recomendação de bula. O fluroxipir-metílico foi selecionado como alternativa ao clopiralida, herbicida do mesmo mecanismo de ação (Grupo O; Carvalho *et al.*, 2019) sem registro no Brasil para as culturas avaliadas, com doses baseadas em recomendações internacionais de uso em culturas de inverno (Heuston; Macpherson, 2023).

2.1 Pré-emergência

Os experimentos em pré-emergência foram conduzidos em bandejas de poliestireno contendo dez células, cada uma com volume aproximado de 140 cm³. Cada bandeja constituiu uma unidade experimental. Para reduzir possíveis efeitos de bordadura, todas as avaliações foram realizadas em plântulas localizadas na região central da unidade experimental. Os tratamentos foram aplicados até 24 horas após a semeadura.

Duas condições de solo com características distintas foram avaliadas, constituindo um esquema fatorial 2 × 5, com duas condições de solo e cinco doses do herbicida. Cada tratamento foi composto por quatro unidades experimentais (bandejas). As duas condições experimentais foram obtidas a partir de um Latossolo Vermelho-Amarelo (Santos *et al.*, 2018), classificado como Typic Hapludox segundo o *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2022). Uma condição correspondeu ao solo original, enquanto a segunda foi obtida pela mistura desse solo com areia, na proporção de 2:1 (v:v). A comparação entre as duas condições de solo foi realizada exclusivamente nos experimentos em pré-emergência, devido à reconhecida interação das propriedades físico-químicas do solo com as características físico-químicas dos herbicidas, influenciando os processos de sorção, disponibilidade e persistência dos ingredientes ativos no solo, fatores determinantes para a resposta das culturas aos herbicidas durante o estabelecimento inicial.

Antes da instalação dos experimentos, amostras de solo foram coletadas na camada de 0,00–0,20 m para caracterização química e física, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017). Os resultados dessas análises subsidiaram a correção da acidez e a adubação das unidades experimentais, de acordo com as recomendações técnicas para a produção de canola (CQFS-RS/SC, 2016). Após a calagem, o solo permaneceu incubado por 90 dias e uma nova amostragem foi realizada para confirmar a correção da acidez. Os valores apresentados a seguir referem-se a essa análise, feita após a incubação (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica das condições de solo utilizadas nos experimentos.

Atributo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo + areia (2:1)
pH (H ₂ O)	7,4	5,6
M.O (g dm ⁻³)	6,5	2,6
P (mg dm ⁻³)	0,75	33,17
K ⁺ (mmolc dm ⁻³)	0,97	2,14
Ca ²⁺ (mmolc dm ⁻³)	24,4	6,0
Mg ²⁺ (mmolc dm ⁻³)	4,4	3,5

Al ³⁺ (mmolc dm ⁻³)	0	0
H+Al (mmolc dm ⁻³)	11,0	10,0
CTC (mmolc dm ⁻³)	40,8	21,6
V (%)	72,98	53,93
Areia (%)	27	76
Silte (%)	11	1
Argila (%)	62	23

MO = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases.

Fonte: elaboração própria

2.2 Pós-emergência

Os experimentos em pós-emergência foram conduzidos em vasos com capacidade para 1 L, preenchidos com substrato comercial Maxfertil[®]. A utilização de substrato comercial teve como finalidade proporcionar condições homogêneas de crescimento das plantas e reduzir a variabilidade experimental decorrente das propriedades físicas e químicas do solo, permitindo que as diferenças observadas fossem atribuídas predominantemente aos tratamentos herbicidas.

Foram semeadas quatro sementes por vaso e, após a emergência, realizou-se o desbaste, permanecendo apenas uma planta por unidade experimental. Dessa forma, cada vaso constituiu uma unidade experimental, sendo todas as avaliações realizadas na planta remanescente. Os tratamentos foram aplicados quando as plantas apresentavam entre três e quatro folhas verdadeiras.

Todos os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação sob temperaturas variando entre 20 e 27 °C e umidade relativa entre 70 e 80 %. A irrigação foi realizada manualmente, mantendo-se as condições de cultivo próximas à capacidade de campo durante o período experimental. Todas as aplicações, em pré e pós-emergência, foram efetuadas utilizando pulverizador costal elétrico (Brudden SS-20B), equipado com pontas AVI11002, operando à pressão constante de 2 bar e volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

2.3 Caracteres avaliados e análise estatística

As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). As notas de fitotoxicidade visual foram atribuídas por três avaliadores em cada época de avaliação, utilizando-se a escala conceitual proposta pela European Weed Research Council (EWRC), variando de 1 (ausência de sintomas) a 9 (morte da planta) (EWRC, 1964).

Aos 28 DAA também foram determinadas a altura de plantas (cm) e a massa seca da parte aérea (g). Para determinação da biomassa, o material vegetal foi acondicionado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, até massa constante.

Nos experimentos em pós-emergência, todas as variáveis foram mensuradas na única planta presente em cada vaso. Nos experimentos em pré-emergência, a fitotoxicidade foi determinada em cinco plântulas por bandeja, totalizando 20 plantas avaliadas por tratamento. As avaliações de altura de plantas e massa seca da parte aérea foram realizadas em quatro plântulas selecionadas aleatoriamente por unidade experimental, totalizando 16 plantas por tratamento.

Visando integrar diferentes atributos relacionados à tolerância do híbrido aos herbicidas, foi desenvolvido o Índice de Tolerância Médio (ITM). A proposição desse índice fundamentou-se no fato de que herbicidas auxínicos frequentemente promovem espessamento caulinar, formação de galhas e outras alterações morfológicas que podem elevar artificialmente a massa seca, sem representar, necessariamente, melhor desempenho fisiológico da planta. Dessa forma, o ITM integra simultaneamente informações de crescimento e intensidade de injúrias visuais, proporcionando uma estimativa mais robusta da tolerância da cultura.

O índice foi calculado considerando a média das duas épocas experimentais, conforme a Equação 1:

$$ITM = \frac{(MSep1 + Altep1 + (10 - Fit28ep1)) + (MSep2 + Altep2 + (10 - Fit28ep2))}{2} \quad (Eq.1)$$

em que:

- MS = massa seca da parte aérea;
- Alt = altura de plantas;
- Fit28 = fitotoxicidade visual aos 28 dias após a aplicação;
- ep1 e ep2 correspondem à primeira e segunda épocas experimentais, respectivamente.

Para os experimentos em pré-emergência, o ITM foi obtido a partir da média das variáveis avaliadas nos solos arenoso e argiloso para cada dose do herbicida, resultando em um único índice por dose e época experimental. Essa estratégia permitiu sintetizar a resposta global da cultura aos herbicidas, independentemente das condições do solo, facilitando o ajuste das curvas de regressão e a estimativa das doses efetivas capazes de reduzir em 10 e 20 % o desempenho das plantas (ED₁₀ e ED₂₀). Para os experimentos em pós-emergência, o índice foi calculado diretamente para cada dose, uma vez que o fator tipo de solo não foi considerado.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR[®] (Ferreira, 2019). Inicialmente, verificaram-se os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$), sendo cada época experimental analisada separadamente.

Nos experimentos em pré-emergência, adotou-se esquema fatorial envolvendo os fatores dose e tipo de solo. Quando observada interação significativa, realizou-se o desdobramento dos efeitos das doses dentro de cada tipo de solo e do tipo de solo dentro de cada dose. Na ausência de interação significativa, os fatores principais foram interpretados isoladamente. Nos experimentos em pós-emergência, a análise estatística considerou apenas o efeito das doses dos herbicidas.

Quando detectado efeito significativo das doses ($p \leq 0,05$), ajustaram-se modelos de regressão para todas as variáveis avaliadas, incluindo o Índice de Tolerância Médio (ITM), a altura de plantas e a biomassa seca da parte aérea. A partir dos modelos ajustados foram estimadas (ED_{10}) e (ED_{20}) o desempenho das plantas, parâmetros amplamente empregados em estudos de seletividade e curvas dose-resposta para quantificar a tolerância de culturas a herbicidas (Ortmeier-Clarke *et al.*, 2022).

3 RESULTADOS

Na mostarda-indiana, a fitotoxicidade aos herbicidas aplicados em pré-emergência variou em função do ingrediente ativo, da dose, da época experimental e do tipo de solo (Tabela 3).

Tabela 3 - Fitotoxicidade visual de *Brassica juncea* (L.) Czern. cultivada em solo arenoso e argiloso submetidos à aplicação de doses crescentes de herbicidas em pré-emergência, em duas épocas experimentais.

Herbicida	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Época 1								Época 2							
		7 DAA		14 DAA		21 DAA		28 DAA		7 DAA		14 DAA		21 DAA		28 DAA	
		AR	AG	AR	AG	AR	AG	AR	AG	AR	AG	AR	AG	AR	AG	AR	AG
Gamit [®] (Clomazona)	0	1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a	
	45	4,0 b		6,9 b		7,8 b		7,5 b		1,6 a		2,7 b		2,6 a		1,7 a	
	90	4,0 b		7,6 bc		8,1 bc		8,5 c		3,6 b		6,8 c		6,7 b		6,1 b	
	180	4,0 b		7,9 bc		8,2 cd		8,7 c		3,9 b		8,0 c		8,0 b		7,4 b	
	360	4,0 b		8,9 c		9,0 d		9,0 c		3,8 b		8,0 c		8,0 b		7,4 b	
Média geral		3,4		6,3		6,7		6,9		2,8		5,3		5,3		4,7	
C.V(%)		0,0		11,9		8,3		8,0		17,8		21,0		21,1		21,8	
Facet [®] (quinclorac)	0	1,0Aa	1,0Aa	1,0a		1,0 a		1,0 a		1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa
	47	1,0Aa	1,0Aa	3,5b		3,2 b		3,9 b		1,0Aa	1,0 Aa	1,0Aa	2,0Bb	1,0Aa	2,2Bb	1,0Aa	2,2Bb
	93,8	1,0Aa	1,0Aa	3,7bc		3,7 b		3,7 b		1,7Aa	1,5Aab	3,2Ab	3,0Ac	4,0Ab	3,5Ac	4,0Ab	3,5Ac
	187,5	1,5Aa	1,0Aa	4,4bc		5,2 c		5,9 c		1,5Aa	1,7Aab	3,9Ab	4,2Ad	3,9Ab	4,2Ac	4,2Ab	5,2Bd
	375	3,2Ab	1,0Aa	4,5c		5,7 c		6,2 c		1,2Aa	2,2 Bb	4,0Ab	6,0Be	4,0Ab	6,0Bd	4,2Ab	6,0Bd
Média geral		1,3		3,4		3,8		4,1		1,4		2,9		3,1		3,2	
C.V(%)		43,9		19,0		22,8		25,9		26,9		15,1		15,8		16,6	
Widclear [®] (fluroxipir- metílico)	0*	1,0 a	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0 Aa	1,0 a	1,0Aa	1,0Aa	1,0 a			1,0 a	
	30	1,0 a	2,0Ba	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0Aa	1,0 Aa	1,4 a	1,0Aa	1,7Aa	1,4 a			1,4 a	
	60	3,6 b	5,5Ab	5,5Ac	6,0Abc	6,2Ac	5,7Ab	6,2Ac		2,1 b	2,2Aab	3,2Bb	2,7 b			2,2 b	
	90	3,5 b	7,0Bb	3,5Ab	7,2Bb	2,2Aa	7,7 c	1,2Aab		3,0 c	3,0Ab	5,2Bc	4,1 c			3,0 b	
	120	3,9 b	5,7Bc	4,5Abc	5,7Bc	4,2Ab	5,7 b	3,0 Bc		3,2 c	5,0Ac	5,5Ac	5,2 d			4,8 c	
Média geral		2,6		3,7		3,6		3,7		2,1		2,9		2,8		2,5	
C.V(%)		16,4		14,7		19,5		26,3		19,8		22,0		26,8		23,5	

AR = solo arenoso; AG = solo argiloso. *equivalente ácido. Fitotoxicidade avaliada pela escala EWRC (1–9), em que 1 = ausência de injúria e 9 = morte da planta. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculo na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: elaboração própria.

Para a clomazona (Gamit[®]), não houve interação significativa entre dose e tipo de solo em nenhuma das avaliações, tanto na Época 1 quanto na Época 2, sendo observados apenas efeitos isolados desses fatores (Tabela 3). Independentemente das condições do solo, a fitotoxicidade aumentou com o incremento das doses em ambas as épocas experimentais. Na Época 1, a partir dos 14 DAA, as doses de 180 e 360 g i.a. ha⁻¹ promoveram injúrias severas, atingindo a nota máxima da escala EWRC (9) aos 21 e 28 DAA. Na Época 2, a intensidade dos sintomas foi inferior à observada na primeira época. A dose de 45 g i.a. ha⁻¹ permaneceu semelhante à testemunha na maior parte das avaliações, enquanto doses iguais ou superiores a 90 g i.a. ha⁻¹ promoveram aumento progressivo da fitotoxicidade, alcançando notas máximas de 8,0 aos 14 e 21 DAA e de 7,4 aos 28 DAA na maior dose avaliada (360 g i.a. ha⁻¹).

O quinclorac (Facet[®]) resultou em níveis de fitotoxicidade inferiores aos da clomazona nas duas épocas experimentais. Houve interação com o tipo de solo apenas aos 7 DAA na Época 1 e em todas as avaliações na Época 2. Aos 7 DAA da Época 1, somente a dose de 375 g i.a. ha⁻¹ diferiu da testemunha no solo arenoso (nota 3,25), enquanto não houve injúria no solo argiloso. Nas avaliações subsequentes da Época 1, sem interação com o solo, os sintomas aumentaram com a dose, atingindo 6,25 na dose de 375 g i.a. ha⁻¹ aos 28 DAA. Na Época 2, a injúria foi maior no solo argiloso nas doses mais elevadas, com nota 6,00, em comparação a 4,25 no solo arenoso, na dose de 375 g i.a. ha⁻¹ aos 28 DAA.

Para o fluroxipir-metílico (Widclear[®]), a dose de 30 g e.a. ha⁻¹ não diferiu da testemunha na maioria das avaliações, em ambas as épocas. A interação com o tipo de solo ocorreu a partir dos 14 DAA na Época 1 e somente aos 14 DAA na Época 2. A partir de 60 g e.a. ha⁻¹, os sintomas tornaram-se mais evidentes. Na Época 1, as plantas cultivadas em solo arenoso apresentaram maior injúria do que aquelas cultivadas em solo argiloso submetido a doses mais altas, alcançando 7,7 no arenoso e 1,2 no argiloso, na dose de 90 g e.a. ha⁻¹ aos 28 DAA. Na Época 2, a fitotoxicidade foi menor e a diferença entre solos foi menos acentuada, com valor máximo de 5,5 na dose de 120 g e.a. ha⁻¹ aos 21 DAA.

Os parâmetros das equações de regressão ajustadas o efeito dos herbicidas aplicados em pré-emergência sobre para a mostarda-indiana são apresentados na Tabela 4. A qualidade dos ajustes variou conforme as condições do solo. No solo arenoso, os modelos apresentaram, de modo geral, ajuste satisfatório, com coeficientes de determinação (R²) variando de 0,729 a 0,981. No solo argiloso, alguns modelos apresentaram baixo poder explicativo ou não atingiram significância estatística. Para o fluroxipir-metílico, os modelos de altura (R² = 0,226) e massa seca (R² = 0,239) na Época 1 apresentaram baixo poder explicativo; na Época 2, nenhum dos

dois modelos foi significativo ($p > 0,05$). Em contrapartida, os modelos ajustados para o índice de tolerância médio (ITM) apresentaram elevado poder de ajuste, com coeficientes de determinação variando de 0,749 a 0,979, demonstrando a robustez desse índice na descrição da resposta da cultura às doses dos herbicidas. Os modelos de altura e massa seca do quinclorac na Época 2, no solo argiloso, também não foram significativos ($p > 0,05$), indicando ausência de relação detectável entre dose e essas variáveis nesse solo. Por esse motivo, não foi possível estimar as doses efetivas de 10 % (ED_{10}) e 20 % (ED_{20}), já que a redução correspondente não foi atingida dentro da faixa de doses avaliada.

Tabela 4 - Equações de regressão ajustadas e estimativas das doses efetivas (ED₁₀ e ED₂₀) para redução de 10 e 20 % da altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM) de *Brassica juncea* submetidas à aplicação de herbicidas em pré-emergência, nos dois tipos de solo e nas duas épocas experimentais.

Herbicidas	Variável	Tipo de solo	Equação ajustada		R ²		ED ₁₀ (g i.a. ha ⁻¹)		ED ₂₀ (g i.a. ha ⁻¹)	
			Época 1	Época 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2
Facet® (quinclorac)	Altura	AR	y = 10,626232 – 0,018095x	y = 9,2743 – 0,03195x + 7,3219×10 ⁻⁵ x ²	0,933	0,301	58,72	97,96	117,45	178,94
		AG		n.s.		-		-		-
	Massa seca	AR	y = 2,6056 – 0,01245x + 1,8376×10 ⁻⁵ x ²	y = 1,5705 – 0,00878x + 1,8353×10 ⁻⁵ x ²	0,981	0,505	21,62	18,61	44,82	38,94
		AG		n.s.		-		-		-
	ITM		y = 20,1342 – 0,06429x + 9,6986×10 ⁻⁵ x ²		0,979		32,96		70,03	
Gamit® (Clomazona)	Altura	AR	y = 9,6762 – 0,1067x + 2,2506×10 ⁻⁴ x ²	y = 9,0417 – 0,06955x + 1,3251×10 ⁻⁴ x ²	0,817	0,963	9,25	13,34	18,89	27,43
		AG	y = 6,8533 – 0,06824x + 1,3898×10 ⁻⁴ x ²	n.s.	0,760	-	10,26	-	20,98	-
	Massa seca	AR	y = 2,0378 – 0,02288x + 4,8624×10 ⁻⁵ x ²	y = 1,4087 – 0,01368x + 2,8069×10 ⁻⁵ x ²	0,763	0,901	9,08	10,52	18,54	21,55
		AG		n.s.		-		-		-
	ITM		y = 17,3127 – 0,1483x + 3,0054×10 ⁻⁴ x ²		0,916		11,96		24,57	
Widclear® (fluroxipir- metílico)	Altura	AR	y = 13,7295 – 0,1828x + 7,7413×10 ⁻⁴ x ²	y = 6,905250 – 0,021150	0,729	0,883	7,77	32,65	16,12	65,30
		AG	y = 8,79300 – 0,033675x		0,226		26,11		52,22	
	Massa seca	AR	y = 3,2159 – 0,05612x + 2,8274×10 ⁻⁴ x ²	y = 1,551500 – 0,009167x	0,809	0,957	5,91	16,93	12,21	33,85
		AG	y = 2,4973 – 0,03033x + 1,9266×10 ⁻⁴ x ²	n.s.	0,239	-	8,72	-	18,69	-
	ITM		y = 20,3719 – 0,1441x + 5,0068×10 ⁻⁴ x ²		0,749		14,91		31,78	

AR = solo arenoso; AG = solo argiloso. Ép.1= época1; Ép.2 = época 2. Facet (0; 47, 93,8, 187,5, 375 g i.a ha⁻¹); Gamit (0; 45; 90; 180; 360 g i.a ha⁻¹); Widclear (0; 30, 60, 90, 120 g e.a ha⁻¹). R² = coeficiente de determinação. n.s = não significativo (p > 0,05) para equação de 1° e 2° grau.

Fonte: elaboração própria

Com base no ITM, a clomazona apresentou os menores valores de ED₁₀ e ED₂₀ (11,96 e 24,57 g i.a. ha⁻¹), seguida pelo fluroxipir-metílico (14,91 e 31,78 g e.a. ha⁻¹). O quinclorac apresentou os maiores valores de ED₁₀ (32,96 g i.a. ha⁻¹) e ED₂₀ (70,03 g i.a. ha⁻¹), indicando maior tolerância da mostarda-indiana a esse herbicida em pré-emergência.

Para altura e massa seca, a resposta às doses variou conforme o herbicida, a época experimental e o tipo de solo. Para quinclorac e fluroxipir-metílico, observou-se aumento expressivo dos valores de ED₁₀ e ED₂₀ da Época 1 para a Época 2 no solo arenoso, indicando menor sensibilidade da cultura na segunda época. Como exemplo, o ED₁₀ para altura em plantas tratadas com quinclorac no solo arenoso aumentou de 58,72 para 97,96 g i.a. ha⁻¹.

Pós emergência

Para a aplicação dos herbicidas em pós-emergência, a resposta da mostarda-indiana aos herbicidas auxínicos variou conforme o ingrediente ativo, a dose aplicada e a época experimental (Tabela 5). De modo geral, a fitotoxicidade aumentou com o incremento das doses, porém a intensidade da resposta diferiu entre os herbicidas, evidenciando diferentes níveis de tolerância da cultura.

Tabela 5- Fitotoxicidade visual de *Brassica juncea* (L.) Czern. submetida à aplicação de doses crescentes de herbicidas em pós-emergência, em duas épocas experimentais.

Herbicida	Dose (g i.a ha ⁻¹)	Época 1				Época 2			
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Atectra® (dicamba)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	45	4,5 b	6,0 b	6,5 b	9,0 b	2,0 b	2,0 a	1,0a	1,0 a
	90	4,5 b	6,6 b	7,9 b	9,0 b	3,0 c	4,6 b	6,5 b	6,5 b
	180	4,7b	6,7 b	7,7 b	9,0 b	3,7cd	5,5 b	7,5 b	9,0 c
	360	5,0 b	6,7 b	7,2 b	9,0 b	4,0 d	6,0 b	7,7 b	9,0 c
Média geral		3,9	5,4	6,07	7,40	2,8	3,8	4,7	5,3
C.V(%)		26,7	16,6	17,9	0,0	10,9	25,9	16,1	4,5
Elevore® (halauxifeno- metílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	5,7	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	2,0 b	2,5 b	1,5 ab	1,0 a
	7,1	1,4 a	1,2 a	1,2 a	1,2 a	2,0 b	3,2 b	2,5 bc	1,7ab
	10,7	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	2,5bc	3,0 b	3,0c	2,5 b
	12,3	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,2 a	2,7 c	2,7 b	2,5 bc	1,5 a
Média geral		1,17	1,1	1,1	1,1	2,0	2,5	2,1	1,5
C.V(%)		36,0	29,7	25,0	28,7	16,7	21,9	27,5	27,6
Facet® (quinclorac)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	47	1,7ab	2,0 ab	1,6ab	1,5 a	2,2 b	2,0 b	1,2 a	1,0 a
	93,8	2,1b	2,37b	2,3bc	2,2ab	2,0 b	2,7bc	2,7 b	2,2 b
	187,5	2,4 b	2,4 b	2,4bc	2,2ab	2,0 b	3,0 c	3,0 b	3,0 c
	375	2,0ab	2,6 b	2,9 c	3,1 b	2,2 b	3,0 c	3,5 b	3,5 c
Média geral		1,8	2,07	2,0	2,0	1,9	2,3	2,3	2,1

C.V(%)		26,6	25,1	25,9	29,0	16,6	18,2	17,7	15,9
Gapper® (florpirauxifeno- benzílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	5,7	2,0ab	1,7 a	2,0ab	2,0 a	2,0 b	2,0 b	1,2 a	1,0 a
	7,1	3,2bc	4,0 b	3,7 b	4,5 b	3,5 c	4,5 c	5,5 b	5,5 b
	10,7	5,0 d	6,2 c	9,0 c	9,0 c	3,7 c	4,5 c	5,5 b	5,5 b
	12,3	6,2cd	7,7c	7,2 c	7,2 c	3,7 c	5,0 c	6,0 b	6,0 b
Média geral		3,5	4,1	4,6	4,7	2,8	3,4	3,8	3,8
C.V(%)		29,0	19,9	19,0	20,2	14,6	10,7	14,6	13,6
Widclear® (fluroxipir- metílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	30	4,5 b	6,0 b	7,1 b	8,5 b	3,4 b	4,7 b	6,0 b	6,0 b
	60	4,5 b	7,7 bc	9,0 c	9,0 c	3,5 b	5,0 b	6,0 b	6,0 b
	90	5,2bc	7,7 bc	9,0 c	9,0 c	4,0 b	6,0 b	7,5 c	8,5 c
	120	6,5 c	8,5 c	9,0 c	9,0 c	4,0 b	5,2 b	7,0 c	9,0 c
Média geral		4,3	6,2	7,0	7,3	3,2	4,4	5,5	6,1
C.V(%)		20,3	13,5	7,96	6,1	10,6	13,7	8,1	7,3

Fitotoxicidade avaliada pela escala EWRC (1–9), em que 1 = ausência de injúria e 9 = morte da planta. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$)

Fonte: elaboração própria

Para o dicamba (Atectra®), a fitotoxicidade foi crescente em função da dose, com sintomas mais intensos na Época 1. Aos 28 DAA, as maiores doses atingiram nota 9,0 na escala EWRC, enquanto na Época 2 os sintomas permaneceram inferiores nas doses intermediárias, indicando progressão mais lenta dos sintomas, contudo também causando a morte das plantas aos 28 DAA nas duas maiores doses.

Em resposta ao halauxifeno-metílico (Elevore®), as plantas de mostarda-indiana apresentaram comportamento oposto ao dos demais: fitotoxicidade praticamente nula na Época 1, com a maioria das doses não diferindo da testemunha em nenhuma avaliação. Na Época 2, observaram-se apenas sintomas leves e transitórios, sem evolução ao longo das avaliações, demonstrando elevada tolerância da mostarda as doses testadas do herbicida.

Para o quinclorac (Facet®) níveis baixos de fitotoxicidade nas duas épocas foram verificados, com aumento discreto em função da dose. O valor máximo foi de 3,1 (dose 375 g i.a. ha⁻¹, 28 DAA) na Época 1 e de 3,5 (dose 375 g i.a. ha⁻¹, 21 e 28 DAA) na Época 2. Enquanto o florpirauxifeno-benzílico (Gapper®), promoveu sintomas intermediários nas plantas de mostarda-indiana, inferiores aos observados para dicamba e fluroxipir-metílico. Por outro lado, o fluroxipir-metílico (Widclear®) foi o herbicida mais fitotóxico em pós-emergência, ocasionando os maiores níveis de injúria visual entre os produtos avaliados. Na Época 1, todas as doses a partir de 30 g e.a. ha⁻¹ atingiram a nota máxima da escala (9) aos 21 e 28 DAA. Na Época 2, a injúria foi elevada, atingindo nota 9 na dose de 120 g e.a. ha⁻¹ aos 28 DAA. Mesmo

a menor dose (30 g e.a. ha⁻¹) provocou injúria expressiva, com nota 8,5 aos 28 DAA na Época 1.

Os parâmetros das equações de regressão para fitotoxicidade e índice de tolerância médio (ITM) encontram-se na Tabela 6. Os modelos apresentaram elevado poder de ajuste para a maioria das variáveis, com coeficientes de determinação predominantemente superiores a 0,90, indicando adequada descrição da resposta da cultura ao aumento das doses dos herbicidas.

Tabela 6 - Equações de regressão ajustadas, coeficientes de determinação (R^2) e estimativas das doses efetivas (ED_{10} e ED_{20}) para redução de 10 e 20 % da altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM) de *Brassica juncea* submetida à aplicação de herbicidas em pós-emergência.

Herbicida	Variável	Equação ajustada		R^2		ED_{10} (g i.a. ha ⁻¹)		ED_{20} (g i.a. ha ⁻¹)	
		Época 1	Época 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2
Atectra® (dicamba)	Altura	$y = 90,3033 - 1,0888x + 2,3720 \times 10^{-3}x^2$	$y = 156,1042 - 1,1386x + 1,9344 \times 10^{-3}x^2$	0,654	0,890	9,18	15,23	18,83	31,80
	Massa seca	$y = 4,2969 - 0,05181x + 1,1287 \times 10^{-4}x^2$	$y = 14,0000 - 0,10773x + 1,9000 \times 10^{-4}x^2$	0,654	0,974	9,15	14,84	18,74	31,08
	ITM	$y = 140,7291 - 1,2647x + 0,002447x^2$		0,985		12,19		25,56	
Facet® (quinclorac)	Altura	$y = 123,647597 - 0,185177x$	n.s	0,985	-	66,77	-	133,55	-
	Massa seca	n.s	n.s	-	-	-	-	-	-
	ITM	$y = 148,007512 - 0,140267x$		0,974		105,52		211,03	
Elevore® (halauxifeno- metílico)	Altura	n.s	n.s	-	-	-	-	-	-
	Massa seca	n.s	n.s	-	-	-	-	-	-
	ITM	n.s		-		-		-	
Gapper® (florpirauxifeno- benzílico)	Altura	$y = 127,8309 - 4,3959x - 0,5311x^2$	$y = 147,090371 - 8,814996x$	0,928	0,663	2,65	1,67	4,52	3,34
	Massa seca	$y = 6,0111 - 0,4432x - 2,3085 \times 10^{-3}x^2$	$y = 13,742097 - 0,908184x$	0,929	0,764	1,44	1,51	2,70	3,03
	ITM	$y = 151,2893 - 3,9846x - 0,5797x^2$		0,865		3,68		6,43	
Widclear® (fluroxipir- metílico)	Altura	$y = 111,3539 - 3,1936x + 0,01960x^2$	$y = 126,4983 - 2,0942x + 8,6774 \times 10^{-3}x^2$	0,870	0,933	3,63	6,63	7,77	14,06
	Massa seca	$y = 5,3611 - 0,1505x + 9,1310 \times 10^{-4}x^2$	$y = 12,5275 - 0,2199x + 9,7778 \times 10^{-4}x^2$	0,892	0,981	4,03	6,53	8,31	13,71
	ITM	$y = 136,2418 - 2,9922x + 0,01595x^2$		0,918		5,88		12,48	

Ép.1= época 1; Ép.2= época 2. Atectra (0;45; 90; 180; 360 g i.a ha⁻¹); Facet (0; 47, 93,8, 187,5, 375 g i.a ha⁻¹); Elevore (0;5,7; 7,1; 10,7; 12,3 g i.a ha⁻¹); Gapper (0;5,7; 7,1; 10,7; 12,3 g i.a ha⁻¹); Widclear (0;30, 60, 90, 120 g e.a ha⁻¹). R^2 = coeficiente de determinação. n.s = não significativo ($p > 0,05$) para equação de 1° e 2° grau.

Diferentemente das demais condições avaliadas, vários modelos não foram significativos pelo teste F ($p > 0,05$), não permitindo o ajuste de regressão nem a estimativa das doses eficazes. Isso ocorreu, em especial, para a massa seca do quinclorac e do halauxifeno-metílico em ambas as épocas, e para a altura desses dois herbicidas na Época 2. Entre os modelos significativos, os ajustes variaram de fracos a elevados (R^2 entre 0,654 e 0,985).

Quanto ao ITM, observou-se ampla variação na resposta da cultura aos herbicidas. O florpiauxifeno-benzílico apresentou os menores valores de ED_{10} e ED_{20} em termos absolutos (3,68 e 6,43 g i.a. ha^{-1}), seguido pelo fluroxipir-metílico (5,88 e 12,48 g e.a. ha^{-1}) e pelo dicamba (12,19 e 25,56 g i.a. ha^{-1}). O quinclorac apresentou os maiores valores de ED_{10} e ED_{20} (105,52 e 211,03 g i.a. ha^{-1}). Para o halauxifeno-metílico, o modelo de ITM não foi significativo pelo teste F ($p > 0,05$), o que indica que a variação de dose não promoveu redução detectável do índice, mesmo na maior dose avaliada. Os valores são apresentados em termos absolutos; a comparação proporcional em relação à menor dose testada para cada herbicida será realizada na Discussão.

Para altura e massa seca, quando foi possível o ajuste, observou-se tendência de aumento dos valores de ED_{10} e ED_{20} da Época 1 para a Época 2.

A Tabela 7 apresenta as médias de massa seca e altura da mostarda para os tratamentos cujos dados não se ajustaram a modelos de regressão em pós-emergência. Para o quinclorac (Facet®) e o halauxifeno-metílico (Elevore®), não houve diferença estatística entre as doses e a testemunha em nenhuma das variáveis ou épocas avaliadas, permanecendo todos os tratamentos em um mesmo grupo.

Tabela 7 - Massa seca e altura de *Brassica juncea* em função de doses de quinclorac e halauxifeno-metílico em pós-emergência, em duas épocas experimentais.

Herbicida	Dose (g i.a. ha^{-1})	Época 1		Época 2	
		Massa seca (g)	Altura (cm)	Massa seca (g)	Altura (cm)
Facet® (Quinclorac)	0	5,9 a	-	13,0 a	132,8 a
	47	5,6 a	-	13,3 a	138,7 a
	93,8	5,0 a	-	11,3 a	128,3 a
	187,5	5,1 a	-	10,3 a	121,8 a
	375	4,9 a	-	11,0 a	108,4 a
Média geral		5,3	-	11,8	126,0
C.V(%)		12,1	-	14,0	16,0
Elevore® (halauxifeno- metílico)	0	5,94 a	124,8 a	13,0 a	132,8 a
	5,7	6,4 a	137,6 a	9,9 a	143,6 a
	7,1	6,2 a	134,1 a	8,5 a	121,6 a
	10,7	5,5 a	122,8 a	11,5 a	119,6 a

	12,3	6,0 a	137,3 a	10,6 a	130,5 a
Média geral		6,0	131,3	10,7	129,6
C.V(%)		17,4	6,1	23,8	14,2

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

Fonte: elaboração própria.

Para o quinclorac, a massa seca apresentou médias gerais de 5,3 g (Época 1) e 11,8 g (Época 2), e a altura média foi de 126,0 cm na Época 2. Para o halauxifeno-metílico, a massa seca apresentou médias gerais de 6,0 g (Época 1) e 10,7 g (Época 2), e a altura média foi de 129,6 cm na Época 2. Esses resultados indicam ausência de efeito das doses desses herbicidas sobre o crescimento da mostarda em pós-emergência.

4 DISCUSSÃO

A tolerância da mostarda-indiana aos herbicidas avaliados não foi determinada pelo mecanismo de ação, mas pelo ingrediente ativo utilizado. Embora quinclorac, halauxifeno-metílico, fluroxipir-metílico e florpiauxifeno-benzílico pertençam ao grupo dos mimetizadores de auxina, a tolerância da cultura variou entre esses ingredientes ativos. Quinclorac destacou-se pela elevada tolerância exibida pelas plantas em pré e pós-emergência, assim como halauxifeno-metílico em pós-emergência. Por outro lado, o florpiauxifeno-benzílico e, principalmente, o fluroxipir-metílico provocaram reduções expressivas no crescimento da cultura.

O florpiauxifeno-benzílico ilustra claramente essa dissociação entre sintomas visuais e resposta fisiológica: apresentou fitotoxicidade visual apenas intermediária, mas a menor dose efetiva estimada pelo ITM em valor absoluto entre os tratamentos avaliados. Esse resultado evidencia que avaliações baseadas exclusivamente em sintomas visuais podem subestimar o impacto dos herbicidas sobre o crescimento da cultura e reforça a importância de associar a avaliação visual a variáveis de crescimento na caracterização da tolerância.

O branqueamento observado na mostarda-indiana após a aplicação da clomazona refletiu diretamente seu mecanismo de ação, baseado na inibição da biossíntese de carotenoides pela enzima DXS (1-desoxi-D-xilulose-5-fosfato sintase), o que torna a clorofila suscetível à fotooxidação e compromete a fotossíntese (Ferhatoglu; Barrett, 2006). Em pré-emergência, esse foi o herbicida com a menor dose efetiva estimada pelo ITM entre os avaliados ($ED_{10} = 11,96 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), comportamento oposto ao do quinclorac e indicativo de maior fitotoxicidade relativa já nas menores doses testadas. Embora o mecanismo de ação explique os sintomas observados,

ele não esclarece o grau de sensibilidade apresentado pela mostarda-indiana, o que aponta para diferenças fisiológicas entre espécies ainda não caracterizadas.

As condições do solo influenciaram de forma limitada a resposta da mostarda-indiana à clomazona, uma vez que a interação entre dose e condições do solo foi observada apenas na primeira avaliação da Época 1. Na maior parte das condições avaliadas, a disponibilidade da clomazona foi pouco influenciada pelas características do solo. Isso é compatível com sua elevada solubilidade em água e baixa sorção às frações minerais e orgânicas do solo (Włodarczyk; Siwek, 2016), propriedades que reduzem o efeito das condições do solo sobre sua disponibilidade. Por outro lado, a fitotoxicidade foi menos intensa na segunda época experimental. Ainda assim, a mostarda-indiana manteve-se sensível à clomazona em praticamente todas as condições testadas.

Essa sensibilidade difere da tolerância relatada para a canola (Costa *et al.*, 2025), mas se aproxima da observada na mostarda-branca (*Sinapis alba*), espécie também sensível à clomazona (Jovanović-Radovanov *et al.*, 2025). Esse padrão, porém, não é uniforme entre Brassicáceas, já que cultivares de *B. oleracea* diferem entre si nessa mesma resposta (Scott; Weston, 1992). Até onde foi possível verificar na literatura, este é o primeiro relato da resposta da mostarda-indiana à clomazona.

Entre os herbicidas aplicados em pré-emergência, o quinclorac apresentou a maior dose efetiva estimada pelo ITM entre os avaliados ($ED_{10} = 32,96 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), o que indica maior tolerância relativa da mostarda-indiana a essa molécula, com resposta ainda menos intensa na segunda época experimental. O quinclorac tem sido historicamente associado à sinalização auxínica via TIR1/AFB (Grossmann, 2010), embora ensaios de ligação mais recentes não tenham detectado afinidade direta a esses receptores *in vitro* (Prusinska *et al.*, 2023). Sabe-se, porém, que o quinclorac induz a síntese da enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato sintase (ACC sintase), o que promove o acúmulo de etileno (Grossmann, 1998), e a baixa fitotoxicidade observada sugere que a mostarda-indiana seja capaz de reduzir a disponibilidade ou os efeitos do herbicida antes que resultem em injúrias significativas.

Além disso, o registro do quinclorac para *Brassica juncea*, nos tipos canola e mostarda para condimento, no Canadá (Health Canada, PMRA, 2014), demonstra que a espécie apresenta tolerância suficiente para uso comercial, embora isso não confirme diretamente a magnitude da tolerância observada neste estudo. Em conjunto, essas evidências reforçam a leitura de que a elevada tolerância da mostarda-indiana ao quinclorac resulta da interação entre características da molécula e mecanismos fisiológicos próprios da espécie.

A interação entre dose e tipo de solo foi discreta na Época 1, mas tornou-se consistente na Época 2, quando o solo argiloso apresentou maior fitotoxicidade que o arenoso. Esse resultado contraria o comportamento normalmente esperado para um herbicida com caráter ácido fraco, que tende a apresentar maior sorção em solos com maior teor de argila e matéria orgânica. Os solos, porém, diferiram simultaneamente em pH (7,4 no argiloso contra 5,6 no arenoso), CTC (40,8 contra 21,6 mmolc dm⁻³) e teor de matéria orgânica (6,5 contra 2,6 g dm⁻³). Como a sorção do quinclorac diminui com o aumento do pH (Williams; Wehtje; Walker, 2004), é possível que o pH mais elevado do solo argiloso tenha reduzido sua retenção a ponto de superar o efeito esperado da maior CTC e do maior teor de matéria orgânica. Como essas propriedades variaram simultaneamente neste estudo, essa interpretação permanece como hipótese.

O fluroxipir-metílico, por sua vez, contrastou com o quinclorac. A fitotoxicidade aumentou com a dose e foi mais intensa na Época 1, mas tornou-se menos expressiva na Época 2. Houve interação significativa entre dose e tipo de solo, principalmente na Época 1, quando o solo arenoso apresentou maior fitotoxicidade a partir de 14 DAA. Esse padrão é consistente com a baixa sorção do fluroxipir-metílico e sua maior mobilidade em solos com menor teor de argila e matéria orgânica (Tao; Yang, 2011). Nessas condições, maior quantidade do herbicida permanece na solução do solo, o que favorece sua absorção pelas raízes. Na Época 2, porém, essa interação foi observada apenas aos 14 DAA e apresentou comportamento inverso. Assim como o quinclorac, o fluroxipir-metílico pertence ao grupo dos mimetizadores de auxina, porém atua preferencialmente sobre o receptor TIR1, sem envolver a via adicional do etileno. Apesar de compartilhar o mesmo mecanismo de ação geral, seu comportamento diferiu marcadamente do observado para o quinclorac.

Em pós-emergência, todos os herbicidas avaliados pertencem ao grupo dos mimetizadores de auxina, o que permite verificar se ingredientes ativos com o mesmo mecanismo de ação resultam em respostas semelhantes na mostarda-indiana.

Em valores absolutos, o dicamba apresentou ED₁₀ superior ao do florpiauxifeno-benzílico e ao do fluroxipir-metílico, mas inferior ao do quinclorac, posicionando-se entre esses herbicidas. Entretanto, quando o ED₁₀ é expresso como proporção da menor dose testada para cada ingrediente ativo, o dicamba correspondeu a 27,1 %, enquanto o florpiauxifeno-benzílico correspondeu a 64,6 %. Essa diferença é ainda mais evidente no ED₂₀: enquanto o dicamba exigiu 56,8 % da menor dose testada para reduzir 20 % das variáveis avaliadas, o florpiauxifeno-benzílico ultrapassou a própria menor dose testada (112,8 %). Essa comparação

evidência que, embora o dicamba apresente ED_{10} absoluto superior ao do florpiauxifeno-benzílico, sua tolerância proporcional é menor quando considerada a amplitude de doses avaliada para cada herbicida. Diferentemente do fluroxipir-metílico, o dicamba atua sobre os receptores TIR1 e AFB5, combinação associada a respostas auxínicas mais intensas, caracterizadas por epinastia e senescência precoce (Gleason; Foley; Singh, 2011). Essa maior sensibilidade proporcional da mostarda-indiana ao dicamba é consistente com esse mecanismo de ação combinado.

Não foram encontrados estudos sobre a tolerância da mostarda-indiana ao dicamba, o que torna este o primeiro relato para a espécie. Na canola, o dicamba é reconhecido como um herbicida de risco para culturas de folhas largas (Jugulam *et al.*, 2015), embora plantas nos estádios iniciais de desenvolvimento possam apresentar algum nível de tolerância (Moore, 2002), comportamento também observado em experimentos recentes de campo (Costa *et al.*, 2025). Em contraste, a mostarda-selvagem (*Sinapis arvensis*) apresenta maior tolerância ao dicamba, característica explorada como fonte genética para o desenvolvimento de cultivares tolerantes (Jugulam *et al.*, 2015). A elevada sensibilidade proporcional observada na mostarda-indiana é compatível com essa variação de tolerância entre espécies próximas, mas um único caso ainda é insuficiente para indicar um padrão geral de comportamento.

Essa variabilidade de resposta também foi observada entre os piridinocarboxílicos avaliados. Apesar de halauxifeno-metílico e florpiauxifeno-benzílico apresentarem maior afinidade pelo receptor AFB5 do que pelo TIR1 (Epp *et al.*, 2016), esses herbicidas produziram respostas contrastantes na mostarda-indiana: para o halauxifeno-metílico as plantas apresentaram elevada tolerância, sem redução de crescimento suficiente para permitir a estimativa de dose efetiva pelo ITM, enquanto o florpiauxifeno-benzílico, apesar da fitotoxicidade visual apenas intermediária, apresentou dose efetiva estimada inferior, em valor absoluto, à dos demais herbicidas avaliados. Essa diferença entre moléculas com afinidade semelhante pelo mesmo receptor provavelmente está associada a características específicas de cada uma, incluindo variações na absorção, translocação, metabolização ou intensidade da sinalização hormonal desencadeada, embora esses mecanismos ainda não tenham sido avaliados para a mostarda-indiana.

Resultado semelhante foi observado em soja, na qual o florpiauxifeno-benzílico promoveu maior injúria que o próprio dicamba em frações equivalentes da dose recomendada (Miller; Norsworthy, 2018), o que sustenta a leitura de que baixas doses dessa molécula já são suficientes para comprometer o crescimento de espécies sensíveis. O halauxifeno-metílico, por

sua vez, possui registro no Canadá para uso em pré-semeadura da mostarda-indiana como dessecante antes do plantio (Saskatchewan Mustard Development Commission, 2025), modalidade distinta da avaliada neste estudo. Embora essa informação não confirme diretamente a tolerância observada em pós-emergência, fornece uma evidência complementar de que a espécie tolera a exposição ao ingrediente ativo em determinadas condições de uso.

A tolerância do quinclorac observada em pré-emergência se manteve em pós-emergência, com baixa fitotoxicidade e comportamento consistente entre as duas épocas experimentais, o que indica que a resposta da mostarda-indiana a essa molécula independe da modalidade de aplicação. Resultado semelhante foi relatado para a canola, na qual o quinclorac isolado apresentou menor fitotoxicidade que o dicamba e que a combinação dos dois herbicidas (Costa *et al.*, 2025). Assim como em pré-emergência, esse padrão é compatível com a ausência de afinidade direta do quinclorac pelos receptores TIR1 e AFB5 (Prusinska *et al.*, 2023).

O fluroxipir-metílico confirmou em pós-emergência o padrão observado em pré-emergência e apresentou comportamento oposto ao do quinclorac, apesar de ambos pertencerem ao grupo dos mimetizadores de auxina. Em valor absoluto, sua dose efetiva estimada pelo ITM ($ED_{10} = 5,88 \text{ g e.a. ha}^{-1}$) foi superior apenas à do florpiauxifeno-benzílico entre os herbicidas de pós-emergência. Quando o ED_{10} é expresso como proporção da menor dose testada, porém, o fluroxipir-metílico (19,6 %) foi o ingrediente ativo com menor tolerância relativa entre os quatro avaliados, inferior inclusive ao dicamba (27,1 %) e ao florpiauxifeno-benzílico (64,6 %). O mesmo padrão se repete no ED_{20} : o fluroxipir-metílico correspondeu a apenas 41,6% da menor dose testada, contra 56,8 % do dicamba e 112,8 % do florpiauxifeno-benzílico, o que indica elevada fitotoxicidade desse ingrediente ativo à mostarda-indiana. Essa resposta sustenta a hipótese de forte ativação da sinalização auxínica pelo fluroxipir-metílico, possivelmente associada à sua ação preferencial sobre o receptor TIR1. Resultado semelhante foi descrito para a canola, que apresentou elevada injúria após aplicações precoces de fluroxipir, enquanto outros herbicidas causaram pouco ou nenhum dano visível (Cogdill, 2013).

O Índice de Tolerância Médio (ITM) permite ajustar curvas de dose-resposta e estimar doses efetivas para cada herbicida, o que amplia a interpretação da tolerância além do que a avaliação visual isolada, por sua natureza ordinal, permite captar. Esse desempenho também se refletiu nos ajustes estatísticos: em pré-emergência, os modelos de ITM apresentaram R^2 entre 0,749 e 0,979, superiores aos obtidos para altura e massa seca isoladamente, sobretudo no solo argiloso, onde algumas dessas variáveis não permitiram sequer estimar as doses efetivas.

No caso do halauxifeno-metílico, a fitotoxicidade visual já era praticamente nula, o que poderia sugerir que o ITM apenas repetiria essa conclusão. O índice, no entanto, agrega altura e massa seca, componentes independentes da nota visual, e nenhum mostrou redução suficiente para o ajuste de um modelo de dose-resposta. A tolerância a essa molécula, portanto, reflete também a manutenção do crescimento, não só a ausência de sintomas visíveis. As doses testadas (5,7 a 12,3 g i.a. ha⁻¹) já se mostraram suficientes para reduzir o crescimento quando testadas com o florpiauxifeno-benzílico, do mesmo subgrupo químico e na mesma faixa de doses, o que reforça que a ausência de resposta ao halauxifeno-metílico reflete tolerância real, não limitação do intervalo experimental.

Além das diferenças entre ingredientes ativos, a intensidade da resposta também variou entre as épocas experimentais. Esse padrão, já descrito para clomazona e fluroxipir-metílico em pré-emergência, também ocorreu com dicamba e florpiauxifeno-benzílico em pós-emergência. Dados da estação meteorológica de Lavras (INMET, 2025) indicam que as duas épocas experimentais ocorreram sob condições climáticas distintas, com temperatura média mensal inferior em setembro (21,4 °C) em relação a novembro (22,2 °C), o que pode ter reduzido a atividade metabólica das plantas, prolongado a exposição aos herbicidas e contribuído para a maior sensibilidade inicial da cultura (Bough; Gaines; Dayan, 2022). Em pós-emergência, o quinclorac apresentou resposta semelhante entre as épocas, o que sugere maior estabilidade de tolerância frente à variação ambiental nessa modalidade. Já o halauxifeno-metílico apresentou comportamento inverso, com ausência de fitotoxicidade na Época 1 e sintomas discretos na Época 2. Essa diferença, porém, foi pequena e pode representar apenas variação experimental em uma cultura que apresentou elevada tolerância a essa molécula.

Entre os seis herbicidas avaliados, o halauxifeno-metílico propiciou o melhor desempenho da mostarda-indiana em pós-emergência, com o menor impacto sobre o desenvolvimento da cultura nessa modalidade. No entanto, essa elevada tolerância deve ser confirmada em condições de campo antes de qualquer recomendação. O quinclorac, por sua vez, apresentou o comportamento mais consistente, com elevada tolerância das plantas tanto em pré quanto em pós-emergência, o que sugere seu potencial como o principal herbicida para validação em campo, a ser confirmado em condições reais de cultivo. Em pré-emergência, a clomazona apresentou o maior potencial de causar injúrias entre os herbicidas avaliados. Em pós-emergência, o dicamba e o florpiauxifeno-benzílico apresentaram tolerância intermediária quando avaliados proporcionalmente à própria faixa de dose, ainda mais fitotóxicos que o quinclorac e o halauxifeno-metílico. O fluroxipir-metílico, por sua vez, foi o ingrediente ativo

menos promissor entre os avaliados, com a menor tolerância proporcional entre os quatro herbicidas de pós-emergência, além de também ter se mostrado limitante em pré-emergência.

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, sem competição com plantas daninhas e sob variação natural de temperatura, o que limita a extrapolação dos resultados para condições de campo e impede atribuir com precisão as diferenças observadas entre épocas a um único fator ambiental. Além disso, as avaliações foram restritas ao crescimento inicial da cultura, sem incluir variáveis relacionadas à produtividade e à qualidade de sementes, que são fundamentais para validar o potencial de uso dos herbicidas em condições comerciais.

Em conjunto, os resultados mostram que a tolerância da mostarda-indiana não pode ser prevista apenas pelo mecanismo de ação dos herbicidas: diferenças entre ingredientes ativos do mesmo mecanismo de ação foram suficientes para produzir respostas contrastantes. Do ponto de vista prático, essa variação reforça a necessidade de avaliar cada ingrediente ativo individualmente antes de qualquer recomendação de uso, e aponta o quinclorac e o halauxifeno-metílico como as moléculas mais promissoras para validação em condições de campo e eventual inclusão em programas de controle químico da cultura.

5 CONCLUSÃO

A mostarda-indiana apresentou tolerância ao quinclorac em pré e pós-emergência, com resposta consistente entre as duas modalidades. Em pré-emergência, a cultura apresentou maior sensibilidade à clomazona, enquanto o fluroxipir-metílico também reduziu o crescimento, com influência das condições de solo e da época experimental. Em pós-emergência, a cultura apresentou elevada tolerância ao halauxifeno-metílico, enquanto o fluroxipir-metílico apresentou baixa tolerância e o dicamba e o florpírauxifeno-benzílico apresentaram respostas intermediárias. O florpírauxifeno-benzílico, apesar de apresentar sintomas visuais intermediários, reduziu o crescimento da cultura em doses baixas, evidenciando a importância do ITM na caracterização da tolerância.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BASSEGIO, D.; ZANOTTO, M. D. Growth, yield, and oil content of *Brassica* species under Brazilian tropical conditions. **Bragantia**, v. 79, n. 2, p. 203-212, 2020. DOI: 10.1590/1678-4499.20190411.

BOUGH, R. A.; GAINES, T. A.; DAYAN, F. E. Low temperature delays metabolism of quizalofop in resistant winter wheat and three annual grass weed species. **Frontiers in Agronomy**, v. 3, art. 800731, 2022. DOI: 10.3389/fagro.2021.800731.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **AGROFIT**. Brasília, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>. Acesso em: 11 jun. 2026.

CARVALHO, S. J. P.; ROSSI, C. V. S.; MELO, M. S. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; KAGI, F. Y. Modifications on labels and leaflets of herbicides for preventing and managing resistance. **Planta Daninha**, v. 37, e019221645, 2019. DOI: 10.1590/S0100-83582019370100149.

CHRISTOFFOLETI, P. J. (coord.). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 3. ed. Piracicaba: HRAC-BR, 2016.

COGDILL, T. J. Impact of herbicides on winter canola (*Brassica napus* L.) production and fatty acid composition in South Texas. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia) – Texas A&M University, College Station, 2013.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; OLIVEIRA, N. T. de. Manejo integrado de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 67-78.

COSTA, N. *et al.* Herbicide selectivity and efficacy in weed control in canola production system. **Crop Protection**, v. 193, p. 107207, 2025. DOI: 10.1016/j.cropro.2025.107207.

EPP, J. B. *et al.* The discovery of Arylex™ active and Rinskor™ active: two novel auxin herbicides. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 24, n. 3, p. 362-371, 2016. DOI: 10.1016/j.bmc.2015.08.011.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL (EWRC). Committee of Methods in Weed Research. Report of the 3rd and 4th meetings of the EWRC Committee of Methods in Weed Research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964.

FERHATOGLU, Y.; BARRETT, M. Studies of clomazone mode of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 85, n. 1, p. 7-14, 2006. DOI: 10.1016/j.pestbp.2005.10.002.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, p. 529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

GLEASON, C.; FOLEY, R. C.; SINGH, K. B. Mutant analysis in *Arabidopsis* provides insight into the molecular mode of action of the auxinic herbicide dicamba. **PLoS ONE**, v. 6, n. 3, e17245, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0017245.

GROSSMANN, K. Quinclorac belongs to a new class of highly selective auxin herbicides. **Weed Science**, v. 46, n. 6, p. 707-716, 1998. DOI: 10.1017/S004317450008975X.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2010. DOI: 10.1002/ps.1860.

HEUSTON, P.; MACPHERSON, M. **Weed control in winter crops 2023**. Orange: NSW Department of Primary Industries, 2023. 82 p. Disponível em: <https://www.dpi.nsw.gov.au>. Acesso em: 23 jun. 2026.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 22 jul. 2026.

JOVANOVIĆ-RADOVANOV, K. Susceptibility of different crops to simulated clomazone carry-over and its degradation dynamics in sandy loam soil. **Agronomy**, v. 15, n. 7, art. 1538, 2025. DOI: 10.3390/agronomy15071538.

JUGULAM, M. *et al.* Transfer of dicamba tolerance from *Sinapis arvensis* to *Brassica napus* via embryo rescue and recurrent backcross breeding. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7, e0133258, 2015.

MILLER, M. R.; NORSWORTHY, J. K. Row crop sensitivity to low rates of foliar-applied florypyrauxifen-benzyl. **Weed Technology**, v. 32, n. 4, p. 398-406, 2018.

MOORE, J. The tolerance of canola to herbicides. In: THIRTEENTH AUSTRALIAN WEEDS CONFERENCE, 13., 2002, Austrália. **Conference**. Perth: 2002. p. 348-351. Disponível em: <https://caws.org.nz/old-site/awc/2002/awc200213481.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2024.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; INOUE, M. H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 243-262.

ORTMEIER-CLARKE, H. J.; OLIVEIRA, M. C.; ARNESON, N. J.; CONLEY, S. P.; WERLE, R. Dose-response screening of industrial hemp to herbicides commonly used in corn and soybean. **Weed Technology**, v. 36, n. 2, p. 245-252, 2022. DOI: 10.1017/wet.2021.105.

PRUSIŃSKA, J.; UZUNOVA, V.; SCHMITZER, P.; WEIMER, M.; BELL, J.; NAPIER, R. M. The differential binding and biological efficacy of auxin herbicides. **Pest Management Science**, v. 79, n. 4, p. 1305-1315, 2023.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SASKATCHEWAN MUSTARD DEVELOPMENT COMMISSION. **Mustard Production Manual**. Saskatoon: SMDC, 2025. Disponível em: <https://saskmustard.com/production-manual/>. Acesso em: 22 jun. 2026.

SCOTT, J. E.; WESTON, L. A. Cole crop (*Brassica oleracea*) tolerance to clomazone. **Weed Science**, v. 40, n. 1, p. 7-11, 1992.

SILVA, A. N.; HOLDEFER, B.; OLIVEIRA, D. S.; DICKEL, I. C. H.; PRADO, M. T. S. Herbicidas pré-emergentes como ferramenta estratégica no manejo integrado de plantas daninhas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 22, n. 54, p. 94-116, 2025. DOI: 10.18677/EnciBio_2025D6.

SINGH, R. K.; SINGH, R. P.; SINGH, M. K. Weed management in rapeseed-mustard: a review. **Agricultural Reviews**, v. 34, n. 1, p. 36-49, 2013.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 13. ed. Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2022.

TAO, L.; YANG, H. Fluroxypyr biodegradation in soils by multiple factors. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 175, p. 227-238, 2011. DOI: 10.1007/s10661-010-1508-2.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual of soil analysis methods**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

VERMA, A.; BAKOLIYA, M.; CHOUDHARY, R.; SINGH, L.; KACHHWAHA, S.; GODIKA, S.; JAIN, R. Recent technology interventions for agronomic traits enhancement in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss.]. **Scientia Horticulturae**, v. 338, art. 113542, 2024. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.113542.

WILLIAMS, J. M.; WEHTJE, G.; WALKER, R. H. Factors affecting sorption and mobility of quinclorac in soil. **Weed Technology**, v. 18, n. 3, p. 626-633, 2004.

WŁODARCZYK, M.; SIWEK, H. Influence of formulation on mobility of clomazone in soil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 97, n. 4, p. 582-587, 2016. DOI: 10.1007/s00128-016-1903-7.



ARTIGO 3

TOLERÂNCIA DE *Sesamum indicum* L. A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ E PÓS-EMERGÊNCIA

TOLERANCE OF *Sesamum indicum* L. TO PRE- AND POST-EMERGENCE HERBICIDES³

Ana Luiza Pereira Ferreira
0009-0001-0492-3879

Natália Costa
0000-0003-3864-1551

Emily Xavier de Oliveira
0009-0001-5441-5880

Luiz Daniel Rodrigues da Silva
0000-0003-2703-0026

Christiane Augusta Diniz Melo
0000-0001-6385-2153

Guilherme Vieira Pimentel
0000-0001-9849-6427

Resumo: A limitada disponibilidade de herbicidas seletivos dificulta o controle químico de plantas daninhas na cultura do gergelim, tornando necessária a identificação de ingredientes ativos com potencial de uso. Objetivou-se avaliar a tolerância do gergelim a herbicidas aplicados em pré e pós-emergência, bem como a influência das condições do solo sobre a resposta da cultura aos herbicidas aplicados em pré-emergência. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, com quatro repetições. Em pré-emergência, o delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×5 (dois tipos de solo $\times$ cinco doses), avaliando-se individualmente os herbicidas clomazona, quinclorac e fluroxipir-metílico, em solo arenoso e argiloso. Em pós-emergência, o delineamento foi inteiramente casualizado, com cinco doses, avaliando-se individualmente os herbicidas dicamba, quinclorac, fluroxipir-metílico, halauxifeno-metílico e florpírauxifeno-benzílico. A tolerância foi avaliada por meio da fitotoxicidade visual, altura de plantas, massa seca da parte aérea, estimativas da dose efetiva para reduzir 10 % e 20 % das variáveis avaliadas e pelo Índice de Tolerância Médio (ITM). Em pré-emergência, para o fluroxipir-metílico, a resposta do gergelim indicou menor redução das variáveis avaliadas nas doses testadas, enquanto clomazona e quinclorac promoveram maior redução da resposta da cultura nas respectivas doses avaliadas. As condições do solo influenciaram apenas a resposta ao quinclorac, com maior fitotoxicidade no solo arenoso. Em pós-emergência, para o fluroxipir-metílico, a dose efetiva estimada pelo ITM para reduzir em 10 % a resposta do gergelim foi de 22,70 g e.a. ha⁻¹. Halauxifeno-metílico e florpírauxifeno-benzílico produziram fitotoxicidade visual intermediária, porém apresentaram doses efetivas estimadas pelo ITM para reduzir em 10 % a resposta da cultura inferiores à menor dose avaliada, evidenciando que a avaliação visual isolada pode subestimar os efeitos dos herbicidas sobre o

³ Artigo científico apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal.

desenvolvimento da cultura. Os resultados demonstram que a resposta do gergelim aos herbicidas varia em função do ingrediente ativo, da dose e da modalidade de aplicação, sendo necessários estudos em condições de campo para validar as respostas observadas em casa de vegetação.

Palavras-chave: *Sesamum indicum*; Fitotoxicidade; Solos contrastantes; Fluroxipir-metílico; Índice de tolerância médio.

Abstract: The limited availability of selective herbicides hampers chemical weed control in sesame, making it necessary to identify active ingredients with potential for use in the crop. This study aimed to evaluate sesame tolerance to herbicides applied pre- and post-emergence, as well as the influence of soil texture on crop response to herbicides applied pre-emergence. The experiments were conducted under greenhouse conditions, with four replications. In pre-emergence, a randomized complete block design was used in a 2×5 factorial arrangement (two soil conditions $\times$ five herbicide rates), with clomazone, quinclorac, and fluroxypyr-methyl evaluated individually under sandy and clayey soil conditions. In post-emergence, a completely randomized design with five herbicide rates was used to individually evaluate dicamba, quinclorac, fluroxypyr-methyl, halauxifen-methyl, and florpyrauxifen-benzyl. Tolerance was assessed based on visual crop injury, plant height, shoot dry mass, estimates of the effective dose required to reduce the evaluated variables by 10 % and 20 %, and the Mean Tolerance Index (MTI). In pre-emergence, fluroxypyr-methyl resulted in the lowest reductions in the evaluated variables across the tested rates, whereas clomazone and quinclorac caused greater reductions in crop response at the respective rates evaluated. Soil texture influenced only the response to quinclorac, with greater crop injury under sandy soil conditions. In post-emergence, for fluroxypyr-methyl, the effective dose estimated by the MTI to reduce sesame response by 10 % was $22.70 \text{ g a.e. ha}^{-1}$. Halauxifen-methyl and florpyrauxifen-benzyl caused intermediate levels of visual injury; however, the effective doses estimated by the MTI to reduce crop response by 10 % were lower than the lowest rate evaluated, indicating that visual assessment alone may underestimate the effects of herbicides on crop development. The results demonstrate that sesame response to herbicides varies according to the active ingredient, rate, and application timing, and field studies are required to validate the responses observed under greenhouse conditions.

Keywords: *Sesamum indicum*; Phytotoxicity; Contrasting soils; Fluroxypyr-methyl; Mean tolerance index.

1 INTRODUÇÃO

A diversificação e a rotação de culturas aumentam a sustentabilidade dos sistemas agrícolas ao melhorar atributos do solo, reduzir a pressão de pragas, patógenos e plantas daninhas e contribuir para a estabilidade da produção (Tamburini *et al.*, 2020). Além desses benefícios, a crescente ocorrência de períodos de déficit hídrico tem reforçado a necessidade de espécies mais adaptadas às condições climáticas adversas, como o gergelim (*Sesamum indicum* L.). A cultura destaca-se como opção para a segunda safra no Cerrado brasileiro, devido ao ciclo curto (90–110 dias), à facilidade de manejo e à elevada tolerância à seca, o que permite sua inserção em janelas agrícolas restritas (Ariel *et al.*, 2007). A essas vantagens soma-se o

menor custo de implantação, inferior a 40 % do estimado para o milho safrinha, o que contribui para sua viabilidade econômica e reforça seu potencial como alternativa para sucessão de culturas (Christo *et al.*, 2024).

Favorecido por essas características, o cultivo de gergelim expandiu-se de forma expressiva no Brasil. Na safra 2025/2026, a área estimada foi de aproximadamente 611 mil hectares, valor mais de dez vezes superior aos 53 mil hectares registrados na safra 2018/2019 (Conab, 2026). Apesar dessa expansão, a produtividade média da cultura permaneceu baixa, estimada em cerca de 627 kg ha⁻¹ (Conab, 2026), valor muito inferior ao potencial de cultivares que podem ultrapassar 2.000 kg ha⁻¹ (Queiroga *et al.*, 2012). Esse contraste sugere que fatores relacionados ao manejo ainda limitam a expressão do potencial produtivo da cultura.

Dentre os fatores relacionados ao manejo que limitam a expressão do potencial produtivo do gergelim, destaca-se a interferência das plantas daninhas. O crescimento inicial lento da cultura reduz sua capacidade competitiva, intensificando a disputa por recursos como água, luz e nutrientes (Mane *et al.*, 2017). Como consequência dessa baixa capacidade competitiva, o controle das plantas daninhas torna-se indispensável nos estádios iniciais de desenvolvimento. Na ausência de manejo adequado, as perdas de produtividade podem variar entre 50 e 75 %, com impacto direto sobre a rentabilidade da cultura (Bhadoria *et al.*, 2012). Por isso, recomenda-se manter a cultura livre de plantas daninhas durante o período crítico de prevenção à interferência, cuja duração varia conforme fatores ligados à cultura, às plantas daninhas, ao manejo e ao ambiente (Pitelli, 1985), incluindo a cultivar utilizada. No gergelim, por exemplo, esse período pode variar de 34 a 67 dias, conforme a cultivar e o nível de perda tolerado (Lins *et al.*, 2019).

Nesse contexto, os herbicidas aplicados em pré-emergência assumem papel importante por reduzirem a emergência das plantas daninhas durante a fase de maior sensibilidade da cultura, enquanto os herbicidas em pós-emergência complementam o manejo das plantas daninhas. Em sistemas extensivos, o controle químico constitui uma das principais ferramentas de manejo, devido à eficiência operacional, rapidez de execução e menor demanda de mão de obra (Mane *et al.*, 2018). No entanto, sua adoção no gergelim ainda é limitada pela reduzida disponibilidade de herbicidas registrados. Atualmente, estão registrados apenas 23 produtos formulados, correspondentes a sete ingredientes ativos para a cultura (Brasil, 2026).

Além da disponibilidade restrita de herbicidas, estudos demonstram que a resposta do gergelim varia entre ingredientes ativos e modalidades de aplicação. Em pré-emergência, o diuron e o s-metolaclopro mostraram-se seletivos à cultura (Sofiatti *et al.*, 2021). Já em pós-

emergência, o sethoxydim foi tolerado, enquanto o imazethapyr e o 2,4-D não apresentaram seletividade (Bereta *et al.*, 2021). Essa variabilidade evidencia que a tolerância deve ser avaliada individualmente para cada herbicida, e que os estudos disponíveis ainda se concentram em um número restrito de ingredientes ativos.

A hipótese deste estudo é que a tolerância do gergelim aos herbicidas é influenciada pelo ingrediente ativo e pela modalidade de aplicação e, no caso dos herbicidas aplicados em pré-emergência, pelo tipo de solo, possibilitando a identificação de herbicidas com potencial de utilização na cultura sem comprometer o estabelecimento e o desenvolvimento das plantas. Diante disso, objetivou-se avaliar a tolerância do gergelim a diferentes herbicidas aplicados em pré e pós-emergência.

2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (DAG/UFLA), em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21°13'36.10" S, 44°58'21.38" W). O clima da região é classificado como Cwa, subtropical úmido com influência de monções, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

Com o objetivo de avaliar a tolerância do gergelim (*Sesamum indicum* L.), cultivar Anahí, a herbicidas aplicados em pré- e pós-emergência, foram conduzidos experimentos independentes para cada ingrediente ativo. Os experimentos foram repetidos em duas épocas experimentais, permitindo verificar a consistência das respostas da cultura sob diferentes condições ambientais.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados (DBC) em pré-emergência e inteiramente casualizado (DIC) em pós-emergência, com cinco doses e quatro repetições. Ao todo foram realizados 16 experimentos independentes, sendo seis experimentos em pré-emergência (três herbicidas em duas épocas) e 10 experimentos em pós-emergência (cinco herbicidas em duas épocas). Os experimentos em pré-emergência foram instalados em setembro e repetidos em novembro de 2025, enquanto aqueles conduzidos em pós-emergência foram instalados em setembro de 2025 e repetidos em fevereiro de 2026.

2.1 Pré-emergência

Os experimentos em pré-emergência foram conduzidos em bandejas de poliestireno contendo dez células, cada uma com volume aproximado de 140 cm³. Cada bandeja constituiu

uma unidade experimental. Para reduzir possíveis efeitos de bordadura, todas as avaliações foram realizadas em plântulas localizadas na região central da unidade experimental. Os tratamentos foram aplicados até 24 horas após a semeadura.

Duas condições de solo com características distintas foram avaliadas, constituindo um esquema fatorial 2×5 , com duas condições de solo e cinco doses do herbicida. Cada tratamento foi composto por quatro unidades experimentais (bandejas). As duas condições experimentais foram obtidas a partir de um Latossolo Vermelho-Amarelo (Santos *et al.*, 2018), classificado como Typic Hapludox segundo o *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2022). Uma condição correspondeu ao solo original, enquanto a segunda foi obtida pela mistura desse solo com areia, na proporção de 2:1 (v:v). A comparação entre as duas condições de solo foi realizada exclusivamente nos experimentos em pré-emergência, devido à reconhecida interação das propriedades físico-químicas do solo com as características físico-químicas dos herbicidas, influenciando os processos de sorção, disponibilidade e persistência dos ingredientes ativos no solo, fatores determinantes para a resposta das culturas aos herbicidas durante o estabelecimento inicial.

Antes da instalação dos experimentos, amostras de solo foram coletadas na camada de 0,00–0,20 m para caracterização química e física, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017). Os resultados dessas análises subsidiaram a correção da acidez e a adubação das unidades experimentais, de acordo com as recomendações para a cultura do gergelim. Após a calagem, o solo permaneceu incubado por 90 dias e uma nova amostragem foi realizada para confirmar a correção da acidez. Os valores apresentados a seguir referem-se a essa análise, feita após a incubação. incubação (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica das condições de solo utilizadas nos experimentos.

Atributo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo + areia (2:1)
pH (H ₂ O)	7,4	5,6
M.O (g dm ⁻³)	6,5	2,6
P (mg dm ⁻³)	0,75	33,17
K ⁺ (mmolc dm ⁻³)	0,97	2,14
Ca ²⁺ (mmolc dm ⁻³)	24,4	6,0
Mg ²⁺ (mmolc dm ⁻³)	4,4	3,5
Al ³⁺ (mmolc dm ⁻³)	0	0
H+Al (mmolc dm ⁻³)	11,0	10,0

CTC (mmolc dm ⁻³)	40,8	21,6
V (%)	72,98	53,93
Areia (%)	27	76
Silte (%)	11	1
Argila (%)	62	23

MO = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases.

Fonte: elaboração própria

Foram avaliados os herbicidas quinclorac (Facet[®]), fluroxipir-metílico (Widclear[®]) e clomazona (Gamit[®]). As doses corresponderam, respectivamente, a 0, 47, 93,8, 187,5 e 375 g i.a. ha⁻¹ para quinclorac; 0, 30, 60, 90 e 120 g e.a. ha⁻¹ para fluroxipir-metílico; e 0, 45, 90, 180 e 360 g i.a. ha⁻¹ para clomazona.

2.2 Pós-emergência

Os experimentos em pós-emergência foram conduzidos em vasos com capacidade para 1 L, preenchidos com substrato comercial Maxfertil[®]. A utilização de substrato comercial teve como finalidade proporcionar condições homogêneas de crescimento das plantas e reduzir a variabilidade experimental decorrente das propriedades físicas e químicas do solo, permitindo que as diferenças observadas fossem atribuídas predominantemente aos tratamentos herbicidas.

Foram semeadas quatro sementes por vaso e, após a emergência, realizou-se o desbaste, permanecendo apenas uma planta por unidade experimental. Dessa forma, cada vaso constituiu uma unidade experimental, sendo todas as avaliações realizadas na planta remanescente.

Foram avaliados os herbicidas quinclorac (Facet[®]), halauxifeno-metílico (Elevore[®]), florpiauxifeno-benzílico (Gapper[®]), fluroxipir-metílico (Widclear[®]) e dicamba (Atectra[®]). As doses de quinclorac corresponderam a 0, 47, 93,8, 187,5 e 375 g i.a. ha⁻¹. Para halauxifeno-metílico e florpiauxifeno-benzílico foram utilizadas as doses de 0, 5,7, 7,1, 10,7 e 12,3 g i.a. ha⁻¹. As doses de fluroxipir-metílico foram 0, 30, 60, 90 e 120 g e.a. ha⁻¹, enquanto para dicamba utilizaram-se 0, 45, 90, 180 e 360 g i.a. ha⁻¹.

Todos os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação sob temperaturas variando entre 20 e 27 °C e umidade relativa entre 70 e 80 %. Todos os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação sob temperaturas variando entre 20 e 27 °C e umidade relativa entre 70 e 80 %. A irrigação foi realizada manualmente, mantendo-se as condições de cultivo próximas à capacidade de campo durante o período experimental. Todas as aplicações, em pré e pós-emergência, foram efetuadas utilizando pulverizador costal elétrico (Brudden SS-20B),

equipado com pontas AVI11002, operando à pressão constante de 2 bar e volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

2.3 Caracteres avaliados e análise estatística

As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). As notas de fitotoxicidade visual foram atribuídas por três avaliadores em cada época de avaliação, utilizando-se a escala conceitual proposta pela European Weed Research Council (EWRC), variando de 1 (ausência de sintomas) a 9 (morte da planta) (EWRC, 1964).

Aos 28 DAA também foram determinadas a altura de plantas (cm) e a massa seca da parte aérea (g). Para determinação da biomassa, o material vegetal foi acondicionado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, até massa constante.

Nos experimentos em pós-emergência, todas as variáveis foram mensuradas na única planta presente em cada vaso. Nos experimentos em pré-emergência, a fitotoxicidade foi determinada em cinco plântulas por bandeja, totalizando 20 plantas avaliadas por tratamento. As avaliações de altura de plantas e massa seca da parte aérea foram realizadas em quatro plântulas selecionadas aleatoriamente por unidade experimental, totalizando 16 plantas por tratamento.

Visando integrar diferentes atributos relacionados à tolerância do gergelim aos herbicidas, foi desenvolvido o Índice de Tolerância Médio (ITM). A proposição desse índice fundamentou-se no fato de que herbicidas auxínicos frequentemente promovem espessamento caulinar, formação de galhas e outras alterações morfológicas que podem elevar artificialmente a massa seca, sem representar, necessariamente, melhor desempenho fisiológico da planta. Dessa forma, o ITM integra simultaneamente informações de crescimento e intensidade de injúrias visuais, proporcionando uma estimativa mais robusta da tolerância da cultura.

O índice foi calculado considerando a média das duas épocas experimentais, conforme a Equação 1:

$$ITM = \frac{(MSep1 + Alt ep1 + (10 - Fit28ep1)) + (MSep2 + Alt ep2 + (10 - Fit28ep2))}{2} \quad (Eq.1)$$

em que:

- MS = massa seca da parte aérea;
- Alt = altura de plantas;
- Fit28 = fitotoxicidade visual aos 28 dias após a aplicação;
- ep1 e ep2 correspondem à primeira e segunda épocas experimentais, respectivamente.

Para os experimentos em pré-emergência, o ITM foi obtido a partir da média das variáveis avaliadas nos solos arenoso e argiloso para cada dose do herbicida, resultando em um único índice por dose e época experimental. Essa estratégia permitiu sintetizar a resposta global da cultura aos herbicidas, independentemente das condições do solo, facilitando o ajuste das curvas de regressão e a estimativa das doses efetivas capazes de reduzir em 10 e 20 % o desempenho das plantas (ED_{10} e ED_{20}). Para os experimentos em pós-emergência, o índice foi calculado diretamente para cada dose, uma vez que o fator tipo de solo não foi considerado.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR[®] (Ferreira, 2019). Inicialmente, verificaram-se os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$), sendo cada época experimental analisada separadamente.

Nos experimentos em pré-emergência, adotou-se esquema fatorial envolvendo os fatores dose e tipo de solo. Quando observada interação significativa, realizou-se o desdobramento dos efeitos das doses dentro de cada tipo de solo e do tipo de solo dentro de cada dose. Na ausência de interação significativa, os fatores principais foram interpretados isoladamente. Nos experimentos em pós-emergência, a análise estatística considerou apenas o efeito das doses dos herbicidas.

Quando detectado efeito significativo das doses ($p \leq 0,05$), ajustaram-se modelos de regressão para todas as variáveis avaliadas, incluindo o Índice de Tolerância Médio (ITM), a altura de plantas, a biomassa seca da parte aérea e a fitotoxicidade. A partir dos modelos ajustados foram estimadas (ED_{10}) e (ED_{20}) o desempenho das plantas, parâmetros amplamente empregados em estudos de seletividade e curvas dose-resposta para quantificar a tolerância de culturas a herbicidas (Ortmeier-Clarke *et al.*, 2022).

3 RESULTADOS

3.1 Pré-emergência

A fitotoxicidade visual do gergelim submetido à aplicação de herbicidas em pré-emergência variou em função do ingrediente ativo, da dose aplicada e nas duas épocas experimentais. Para o quinclorac, também foi observada influência das condições do solo na primeira época de condução (Tabela 2).

Tabela 2 - Fitotoxicidade visual de *Sesamum indicum* submetido à aplicação de doses crescentes de herbicidas em pré-emergência, em solo arenoso e argiloso, em duas épocas experimentais.

Herbicida	Dose (g i.a ha ⁻¹)	Época 1								Época 2			
		7 DAA		14 DAA		21 DAA		28 DAA		7 DAA	14DAA	21 DAA	28 DAA
		AR	AG	AR	AG	AR	AG	AR	AG				
Gamit [®] (Clomazona)	0	1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	45	3,6 b		5,1 b		5,1 b		4,8 b		1,0 a	1,1 a	1,0 a	1,0 a
	90	3,0 b		7,8 c		8,4 c		8,5 c		3,1 b	5,6 b	6,4 b	5,8 b
	180	4,5 b		7,8 c		8,1 c		8,1 c		3,6 bc	7,6 c	7,6 bc	7,5 bc
	360	4,0 b		9,0 c		9,0 c		9,0 c		3,9 c	8,3 c	8,4 c	8,3 c
Média geral		3,2		6,1		6,3		6,3		2,5	4,7	4,9	4,7
C.V(%)		38,9		20,4		19,5		19,3		15,7	20,0	25,1	30,0
Facet [®] (quinclorac)	0	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 Aa	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	47	9,0 Bb	5,5Ab	9,0 Bb	5,8 Ab	9,0 Bb	7,4 Ab	9,0 Bb	6,0 Ab	1,3 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	93,8	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	3,5 a	3,8 b	4,0 b	4,1 b
	187,5	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	7,3 b	8,6 c	9,0 c	9,0 c
	375	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	9,0 Ab	9,0 Ac	8,3 b	7,5 c	7,5 c	7,5 c
Média geral		7,1		7,1		7,1		7,1		4,2	4,4	4,5	4,5
C.V(%)		18,1		16,9		16,9		15,9		46,3	35,1	32,0	31,6
Widclear [®] (fluroxipir-metilico)	0*	1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	30	1,0 a		1,1 a		1,0 a		1,0 a		1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	60	5,5 b		6,3 b		6,4 b		6,5 b		1,0 a	1,0 a	1,3 a	1,0 a
	90	8,0 bc		8,0 b		8,3 b		8,3 b		3,1 b	3,5 b	3,8 b	3,8 b
	120	8,0 c		8,3 b		8,3 b		8,3 b		2,5 ab	2,9 b	3,5 b	3,5 b
Média geral		4,9		4,9		5,0		5,0		1,7	1,9	2,1	2,1
C.V(%)		42,8		41,7		43,5		42,7		65,4	55,8	56,4	56,4

AR = solo arenoso; AG = solo argiloso. * doses em e.a.=equivalente ácido. Fitotoxicidade avaliada pela escala EWRC (1–9), em que 1 = ausência de injúria e 9 = morte da planta. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Fonte: elaboração própria.

Para a clomazona (Gamit[®]), a fitotoxicidade aumentou com o incremento das doses ao longo das avaliações e em ambas as épocas experimentais. Não houve interação significativa entre dose e tipo de solo em nenhuma das avaliações, ou seja, o padrão de resposta da cultura à dose não diferiu entre os dois solos avaliados. Na Época 1, os sintomas tornaram-se mais intensos a partir de 90 g i.a. ha⁻¹, e a dose de 360 g i.a. ha⁻¹ atingiu a nota máxima da escala EWRC aos 14, 21 e 28 DAA. Na Época 2, a dose de 45 g i.a. ha⁻¹ não diferiu da testemunha em nenhuma avaliação, enquanto as doses superiores promoveram aumento progressivo da fitotoxicidade, embora com menor intensidade em comparação à primeira época. De modo geral, a clomazona apresentou resposta dose-dependente, com evolução gradual dos sintomas.

O quinclorac (Facet[®]) provocou os maiores níveis de fitotoxicidade entre os herbicidas avaliados em pré-emergência. Houve interação significativa entre dose e tipo de solo em todas as avaliações da Época 1. Na dose de 47 g i.a. ha⁻¹, a fitotoxicidade foi maior no solo arenoso, atingindo nota 9,0 desde os 7 DAA, enquanto no solo argiloso as notas variaram de 5,5 a 7,4 ao longo do período de avaliação. A partir de 93,8 g i.a. ha⁻¹, a nota máxima da escala foi observada em ambos os solos, sem diferença entre as condições de solo, em razão da elevada intensidade dos sintomas. Na Época 2, não houve interação significativa entre dose e tipo de solo, e a fitotoxicidade foi inferior à observada na primeira época. Ainda assim, as doses de 187,5 e 375 g i.a. ha⁻¹ ocasionaram injúrias severas, atingindo notas entre 7,5 e 9,0. Esses resultados evidenciam elevada sensibilidade do gergelim ao quinclorac, sobretudo na primeira época e em solo arenoso.

Para o fluroxipir-metílico (Widclear[®]), a resposta também foi dependente da dose, porém não houve interação significativa entre dose e tipo de solo em nenhuma das avaliações. A dose de 30 g e.a. ha⁻¹ permaneceu semelhante à testemunha em todas as avaliações, enquanto doses iguais ou superiores a 60 g e.a. ha⁻¹ promoveram aumento da fitotoxicidade. Na Época 1, as doses de 90 e 120 g e.a. ha⁻¹ resultaram em injúrias elevadas, com notas próximas de 8,0 a partir dos 7 DAA. Na Época 2, entretanto, os sintomas foram menos intensos, mesmo nas maiores doses, e não ultrapassaram nota 3,8.

Os parâmetros das equações de regressão ajustadas para altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM), bem como as estimativas das doses efetivas (ED₁₀ e ED₂₀), são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Equações de regressão ajustadas e estimativas das doses efetivas (ED₁₀ e ED₂₀) para redução de 10 e 20 % da altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM) de *Sessamum indicum* submetidas à aplicação de herbicidas em pré-emergência, nos dois tipos de solo e nas duas épocas experimentais

Herbicida	Variável	Tipo de solo	Equação ajustada		R ²		ED ₁₀ (g i.a. ha ⁻¹)		ED ₂₀ (g i.a. ha ⁻¹)	
			Época 1	Época 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2
Facet® (quinclorac)	Altura	AR	$y = 6,5191 - 0,07545x + 1,5779 \times 10^{-4}x^2$	$y = 6,6043 - 0,05336x + 1,0749 \times 10^{-4}x^2$	0,655	0,892	8,80	12,70	17,95	26,13
		AG	$y = 4,2423 - 0,04464x + 9,0107 \times 10^{-5}x^2$	$y = 6,5856 - 0,03928x + 5,6354 \times 10^{-5}x^2$	0,851	0,868	9,69	17,19	17,95	35,32
	Massa seca	AR	$y = 0,3564 - 0,00413x + 8,6273 \times 10^{-6}x^2$	$y = 0,2956 - 0,00210x + 3,5906 \times 10^{-6}x^2$	0,655	0,908	8,79	14,43	17,93	29,66
		AG	$y = 0,09248 - 0,000987x + 2,0038 \times 10^{-6}x^2$		0,828		9,56		19,51	
	ITM		$y = 15,0489 - 0,12256x + 2,3637 \times 10^{-4}x^2$		0,990		12,58		25,85	
Gamit® (clomazona)	Altura	AR	$y = 7,7227 - 0,07500x + 1,5139 \times 10^{-4}x^2$	$y = 6,3056 - 0,03741x + 6,2808 \times 10^{-5}x^2$	0,813	0,917	10,52	17,36	21,53	35,87
		AG	$y = 4,9825 - 0,04122x + 7,6733 \times 10^{-5}x^2$		0,905		12,37		25,37	
	Massa seca	AR	$y = 0,4075 - 0,00437x + 9,1413 \times 10^{-6}x^2$	$y = 0,2694 - 0,00201x + 3,7374 \times 10^{-6}x^2$	0,822	0,945	9,51	13,75	19,44	28,29
		AG	$y = 0,084250 - 0,000283x$		0,614		29,77		59,54	
	ITM		$y = 15,5561 - 0,1126x + 2,0901 \times 10^{-4}x^2$		0,938		14,19		29,22	
Widclear® (fluroxipir-metílico)	Altura	AR	$y = 9,0650 - 0,086833x$	n.s	0,885	-	10,44	-	10,44	-
		AG	$y = 5,261000 - 0,037708x$		0,795		13,95		13,95	
	Massa seca	AR	$y = 0,326250 - 0,002758x$	$y = 0,282250 - 0,001346x$	0,893	0,756	11,83	20,97	23,66	41,94
		AG								
	ITM		$y = 16,19150 - 0,086158x$		0,880		18,79		37,58	

AR= arenoso; AG= argiloso. Ép.1= época 1; Ép.2= época 2. Facet (0, 47, 93,8, 187,5, 375 g i.a ha⁻¹); Gamit (0, 45, 90, 180, 360) Widclear (0, 30, 60, 90, 120 g e.a ha⁻¹). R² = coeficiente de determinação. ns = não significativo (p > 0,05) para equação de 1º e 2º grau.

Fonte: elaboração própria.

Os modelos de regressão apresentaram bom ajuste para a maioria das combinações entre doses de herbicidas, variáveis e nas duas épocas, com R^2 predominantemente superiores a 0,80. Ajustes inferiores foram observados para a altura e a massa seca do quinclorac no solo arenoso na Época 1 ($R^2 = 0,655$ em ambas as variáveis). Para o fluroxipir-metílico, os modelos de altura na Época 2 não foram significativos ($p > 0,05$), em ambos os tipos de solo.

De modo geral, considerando as estimativas de altura, massa seca e ITM, o quinclorac apresentou as menores estimativas de ED_{10} e ED_{20} , na maioria dos casos, confirmando a elevada sensibilidade do gergelim a esse herbicida em pré-emergência. A clomazona apresentou valores intermediários, enquanto o fluroxipir-metílico apresentou as maiores doses efetivas em parte das variáveis, sobretudo na segunda época experimental, indicando maior tolerância relativa da cultura. As estimativas de ED_{10} e ED_{20} foram consistentes com a tendência geral observada nas avaliações de fitotoxicidade visual e evidenciaram que a resposta do gergelim depende do ingrediente ativo e das condições de condução do experimento.

3.2 Pós-emergência

Em pós-emergência, a fitotoxicidade visual do gergelim variou em função do herbicida e da dose aplicada nas duas épocas experimentais (Tabela 4). Em geral, os sintomas aumentaram com o incremento das doses, porém a intensidade e a evolução das injúrias foram distintas entre os ingredientes ativos.

Tabela 4 - Fitotoxicidade visual de *Sesamum indicum* submetido à aplicação de doses crescentes de herbicidas em pós-emergência, em duas épocas experimentais.

Herbicida	Dose (g i.a. ha ⁻¹)	Época 1				Época 2			
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA	28 DAA
Atectra® (Dicamba)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	45	3,0 b	4,5 b	5,2 b	5,5 b	2,0 b	2,5 b	2,5 b	2,7 b
	90	4,0 c	5,7 bc	6,0 b	7,0 c	2,7 c	3,0 b	4,5 c	4,5 c
	180	5,0 d	7,0 cd	8,2 c	9,0 d	3,2 c	4,2 c	5,5 c	5,0 c
	360	6,0 e	7,0d	8,5 c	9,0 d	4,0 d	5,5 d	8,7 d	9,0 d
	Média geral	3,8	5,8	5,8	6,3	2,6	3,2	4,3	4,4
	C.V(%)	5,8	14,8	11,3	4,1	12,2	17,1	12,9	13,9
Elevore® (halauxifeno- metílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	5,7	2,4 b	2,1 b	3,2 b	3,25 b	3,75c	4,25bc	4,5 bc	4,7 c
	7,1	2,3 b	3,0 c	4,0 bc	3,7 bc	2,5 b	3,5 b	3,5 b	3,5 b
	10,7	3,7 c	4,0 d	4,5 c	4,2 bc	4,0 c	5,0 c	5,7 cd	5,7 c
	12,3	3,7 c	4,0 d	4 bc	4,7 c	4,25c	5,0 c	6,0 d	6,0 c
	Média geral	2,6	2,8,3	3,3	3,4	3,1	3,7	4,1	4,2
	C.V(%)	16,7	13,4	14,9	20,0	13,2	16,5	16,2	15,7
Facet® (quinclorac)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	47	2,0 ab	3,4 ab	4,0 b	5,0 b	2,0 b	3,0 ab	3,0 a	3,0 a
	93,8	3,0 bc	3,9 b	5,0 bc	5,0 b	3,0 c	4,2 bc	5,75 b	6,7 b
	187,5	3,7 cd	5,5 bc	6,5 c	6,5 b	3,0 c	6,2 cd	7,0 bc	8,0 b
	375	4,2 d	6,5 c	8,7 d	9,0 c	3,7 d	7,5 d	9,0 c	9,0 b
	Média geral	2,8	4,0	5,05	5,3	2,5	4,4	5,1	5,5
	C.V(%)	17,2	29,1	17,5	16,2	8,8	25,2	21,7	20,1
Gapper® (florpirauxife no-benzílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	5,7	2,5 b	2,0 ab	2,5 b	2,5 b	2,0 b	2,5 b	2,5 b	2,7 b
	7,1	2,7 b	3,0 bc	3,5 bc	3,5 bc	4,0 c	4,7 c	6,0 c	6,0 c
	10,7	3,0 b	3,5 c	3,7 c	3,75 c	4,0 c	4,3 c	5,5 c	5,5 c
	12,3	3,2 b	3,4 c	3,7 c	3,75 c	4,0 c	5,0 c	6,0 c	6,0 c
	Média geral	2,5	2,6	2,9	2,9	3,0	3,6	4,2	4,2
	C.V(%)	26,3	21,7	16,7	16,7	0,0	11,3	8,7	8,0
Widclear® (fluroxipir- metílico)	0	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a
	30	2,5 b	1,2 a	1,0 a	1,0 a	2,7 b	2,2 b	2,0 b	2,0 b
	60	3,7 c	3,5 b	2,7 b	2,7 b	3,0bc	4,0 c	3,2 c	3,0 c
	90	4,0 c	4,0 bc	4,0 c	4,0 c	3,5bc	4,2 c	4,2 d	4,2 d
	120	4,0 c	4,7 c	4,7 d	4,7 d	4,0 c	4,7 c	5,2 e	5,2 e
	Média geral	3,0	2,9	2,7	2,7	2,8	3,2	3,1	3,1
	C.V(%)	11,2	18,9	11,7	11,7	17,5	11,9	12,3	10,2

Fitotoxicidade avaliada pela escala EWRC (1–9), em que 1 = ausência de injúria e 9 = morte da planta. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: elaboração própria

O dicamba (Atectra®) promoveu níveis elevados de fitotoxicidade, com aumento progressivo dos sintomas em função das doses. Mesmo a menor dose avaliada (45 g i.a. ha⁻¹) diferiu da testemunha em todas as avaliações, atingindo nota 5,5 aos 28 DAA na Época 1. As

maiores injúrias foram observadas nas doses de 180 e 360 g i.a. ha⁻¹, com ocorrência de nota máxima da escala EWRC na fase final de avaliação, causando a morte das plantas indicando elevada sensibilidade da cultura ao herbicida. Na Época 2, os sintomas inicialmente foram menos intensos, atingindo a nota máxima apenas na maior dose (360 g i.a. ha⁻¹) aos 28 DAA. Portanto, o dicamba apresentou elevada fitotoxicidade ao gergelim, embora a manifestação dos sintomas tenha sido mais lenta na segunda época.

O quinclorac (Facet[®]) também ocasionou injúrias acentuadas, com resposta progressiva ao incremento das doses. Na dose de 47 g i.a. ha⁻¹, a fitotoxicidade permaneceu moderada, com nota 5,0 aos 28 DAA na Época 1. A partir de 93,8 g i.a. ha⁻¹, os sintomas se intensificaram de forma consistente, atingindo níveis máximos nas maiores doses, alcançando nota 9,0 na maior dose (375 g i.a. ha⁻¹) aos 28 DAA na Época 1 e já aos 21 DAA na Época 2, evidenciando forte dependência da resposta em função da dose aplicada. De forma geral, o quinclorac apresentou fitotoxicidade elevada, semelhante à do dicamba nas maiores doses, porém com resposta mais gradual nas doses iniciais.

Entre os herbicidas auxínicos de menor dose, o halauxifeno-metílico (Elevore[®]) e o florpiauxifeno-benzílico (Gapper[®]) apresentaram níveis intermediários de fitotoxicidade, com maior expressão dos sintomas na segunda época experimental. Nessas condições, o florpiauxifeno-benzílico (Gapper[®]) atingiu níveis de injúria estáveis (nota 6,0 aos 28 DAA na Época 2) já a partir da dose de 7,1 g i.a. ha⁻¹, enquanto o halauxifeno-metílico (Elevore[®]) apresentou resposta mais irregular entre doses, atingindo o mesmo patamar (nota 6,0) apenas na maior dose avaliada (12,3 g i.a. ha⁻¹).

O fluroxipir-metílico (Widclear[®]) apresentou os menores níveis de fitotoxicidade, com resposta dose-dependente pouco expressiva na primeira época e aumento discreto dos sintomas na segunda, sem atingir níveis elevados de injúria. Mesmo na maior dose avaliada (120 g e.a. ha⁻¹), a fitotoxicidade não ultrapassou nota 4,7 na Época 1 e 5,2 na Época 2. Esses resultados indicam maior tolerância visual do gergelim ao fluroxipir-metílico.

Os parâmetros das equações de regressão ajustadas para altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM), bem como as estimativas das doses efetivas (ED₁₀ e ED₂₀), são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Equações de regressão ajustadas e estimativas das doses efetivas (ED₁₀ e ED₂₀) para redução de 10 e 20 % da altura de plantas, massa seca da parte aérea e índice de tolerância médio (ITM) de *Sessamum indicum* submetidas à aplicação de herbicidas em pós-emergência, nos dois tipos de solo e nas duas épocas experimentais.

Herbicida	Variável	Equação ajustada		R ²		ED ₁₀ (g i.a. ha ⁻¹)		ED ₂₀ (g i.a. ha ⁻¹)	
		Época 1	Época 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 1	Ép. 2
Atectra® (Dicamba)	Altura	$y = 59,1115 - 0,4905x + 9,0655 \times 10^{-4}x^2$	$y = 53,44250 - 0,147389x$	0,997	0,968	15,56	36,26	32,65	72,52
	Massa seca	$y = 4,8543 - 0,04394x + 8,5075 \times 10^{-5}x^2$	$y = 4,895688 - 0,013646x$	0,965	0,974	16,09	35,88	33,74	71,75
	ITM	$y = 69,6591 - 0,3975x + 0,000578x^2$		0,993		20,35		43,25	
Facet® (quinclorac)	Altura	$y = 57,2350 - 0,3139x + 4,3605 \times 10^{-4}x^2$	$y = 57,9503 - 0,4183x + 7,0331 \times 10^{-4}x^2$	0,965	0,953	21,13	15,45	45,24	32,48
	Massa seca	$y = 4,7906 - 0,03230x + 5,2663 \times 10^{-5}x^2$	$y = 4,8972 - 0,03432x + 5,6648 \times 10^{-5}x^2$	0,947	0,953	17,14	16,72	35,64	34,91
	ITM	$y = 70,9545 - 0,4475x + 6,9994 \times 10^{-4}x^2$		0,976		18,26		38,52	
Elevore® (halauxifeno- metílico)	Altura	$y = 67,5068 - 7,6657x + 0,2879x^2$	$y = 55,290445 - 2,520314x$	0,951	0,711	0,91	2,19	1,90	4,39
	Massa seca	$y = 10,573562 - 0,162509x$	$y = 4,414096 - 0,232206x$	0,875	0,725	6,51	1,90	13,01	3,80
	ITM	$y = 74,990677 - 3,873349x$		0,969		1,94		3,87	
Gapper® (florpirauxifeno- benzílico)	Altura	$y = 66,3237 - 6,2328x + 0,2778x^2$	$y = 55,239077 - 2,965653x$	0,847	0,699	1,13	1,86	2,36	3,73
	Massa seca	$y = 11,9534 - 0,6629x + 0,03374x^2$	$y = 4,783072 - 0,290303x$	0,983	0,644	2,26	1,65	5,10	3,30
	ITM	$y = 78,6310 - 5,8902x + 0,1956x^2$		0,806		1,56		3,28	
Widclear® (fluroxipir- metílico)	Altura	$y = 59,04500 - 0,314083x$	$y = 55,71500 - 0,205083x$	0,943	0,841	18,80	27,17	37,60	54,33
	Massa seca	$y = 2,9900 - 0,013500x$	$y = 4,4186 + 0,01760x - 2,9940 \times 10^{-4}x^2$	0,788	0,916	22,15	77,76	44,30	91,16
	ITM	$y = 70,58150 - 0,310917x$		0,995		22,70		45,41	

Ep.1 =época 1; Ép2= época 2. Atectra (0;45; 90; 180; 360 g i.a ha⁻¹); Facet (0;47, 93,8, 187,5, 375 g i.a ha⁻¹); Elevore (0;5,7; 7,1; 10,7; 12,3 g i.a ha⁻¹); Gapper(0;5,7; 7,1; 10,7; 12,3 g i.a ha⁻¹); Widclear (0;30, 60, 90, 120 g e.a ha⁻¹). R² = coeficiente de determinação.

Fonte: elaboração própria.

Os modelos de regressão apresentaram bom ajuste para a maioria das combinações entre doses dos herbicidas e variáveis-resposta nas duas épocas de avaliação, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,80 na maior parte dos casos. Ajustes inferiores foram observados para o halauxifeno-metílico (Elevore®) e o florpiauxifeno-benzílico (Gapper®) em algumas variáveis e épocas, notadamente para a massa seca do florpiauxifeno-benzílico na Época 2 ($R^2 = 0,764$) e para a altura de plantas de ambos os auxínicos na Época 2 ($R^2 = 0,711$ e $0,699$, respectivamente), além do ITM do fluroxipir-metílico ($R^2 = 0,995$), indicando maior variabilidade na resposta da cultura a esses tratamentos.

De forma geral, os herbicidas auxínicos apresentaram maior efeito sobre o crescimento do gergelim, com destaque para o halauxifeno-metílico e o florpiauxifeno-benzílico, que resultaram nas menores estimativas de ED_{10} e ED_{20} para altura de plantas e massa seca da parte aérea, evidenciando elevada sensibilidade da cultura a esses dois ingredientes ativos.

O dicamba e o quinclorac apresentaram comportamento intermediário, requerendo doses mais elevadas para reduzir em 10 e 20 % a altura e massa seca na parte aérea do gergelim, especialmente na segunda época experimental.

O fluroxipir-metílico apresentou resposta variável entre as épocas experimentais, com aumento expressivo das doses efetivas na segunda época para altura de plantas e massa seca, sugerindo menor sensibilidade da cultura sob essas condições. Esse comportamento foi compatível com a menor intensidade de fitotoxicidade visual observada para esse herbicida.

Com base no ITM, os menores valores de ED_{10} e ED_{20} também foram observados para o halauxifeno-metílico e o florpiauxifeno-benzílico, evidenciando que os efeitos desses herbicidas sobre o crescimento ocorreram mesmo quando a fitotoxicidade visual permaneceu em níveis intermediários. Em contraste, o dicamba e o quinclorac apresentaram maiores valores de doses efetivas para o índice, indicando maior tolerância relativa quanto à integração entre altura, massa seca e sintomas visuais.

De modo geral, as estimativas de ED_{10} e ED_{20} complementaram as avaliações de fitotoxicidade visual. Para dicamba, quinclorac e fluroxipir-metílico, os resultados das diferentes variáveis apresentaram tendências convergentes. Para halauxifeno-metílico e florpiauxifeno-benzílico, entretanto, o ITM evidenciou efeitos sobre o crescimento em doses menores do que aquelas sugeridas exclusivamente pelas notas de fitotoxicidade, demonstrando a importância da avaliação integrada da resposta do gergelim aos herbicidas.

4 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo mostram que a tolerância do gergelim aos herbicidas avaliados variou conforme o ingrediente ativo e a modalidade de aplicação. Entre os herbicidas de pré-emergência, clomazona e quinclorac causaram as maiores injúrias, enquanto o fluroxipir-metílico foi o mais tolerado. Em pós-emergência, o fluroxipir-metílico novamente foi o herbicida mais tolerado, enquanto dicamba e quinclorac se destacaram como os mais fitotóxicos. O halauxifeno-metílico e o florpiauxifeno-benzílico apresentaram fitotoxicidade visual intermediária, mas o Índice de Tolerância Médio (ITM) evidenciou que ambos comprometeram o crescimento em doses proporcionalmente menores do que sugeria a escala visual isolada.

A elevada sensibilidade à clomazona é compatível com seu mecanismo de ação, baseado na inibição da 1-desoxi-D-xilulose-5-fosfato sintase (DXS), enzima-chave da via do metileritritol fosfato (MEP), relacionada à síntese de carotenoides (Ferhatoglu; Barrett, 2006). A redução desses pigmentos compromete a proteção da clorofila contra a fotooxidação, o que resulta no branqueamento característico da clomazona e em prejuízos ao funcionamento fotossintético. Considerando o estabelecimento inicial relativamente lento do gergelim e sua reduzida capacidade competitiva, essa interferência sobre o sistema fotossintético pode contribuir para o menor crescimento inicial da cultura, com reflexos sobre a capacidade produtiva.

O quinclorac também apresentou elevada fitotoxicidade em pré-emergência. Em eudicotiledôneas, esse herbicida induz a atividade da enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato sintase (ACC sintase), o que pode favorecer a produção de etileno e o acúmulo de cianeto em níveis fitotóxicos, além de possíveis alterações na síntese da parede celular e no balanço de oxidação das células (Fipke; Vidal, 2016; Song *et al.*, 2022). Embora pertença ao mesmo Grupo 4 (O) (auxinas sintéticas) (HRAC, 2026) que o fluroxipir-metílico, essas vias adicionais de ação podem contribuir para explicar a maior sensibilidade observada no gergelim ao quinclorac.

O fluroxipir-metílico, o mais tolerado entre os três herbicidas de pré-emergência, também pertence ao Grupo 4 (O) (HRAC, 2026), mas atua predominantemente pela sinalização clássica via TIR1, na qual a ligação ao receptor promove a degradação das proteínas repressoras Aux/IAA e a ativação de genes de resposta à auxina (Grossmann, 2010). Em contraste com o quinclorac, esse mecanismo não envolve a via do etileno e do cianeto, o que pode explicar a menor intensidade das injúrias, embora absorção, translocação e metabolismo do herbicida também possam ter influenciado a resposta.

Não foram identificados estudos publicados sobre a tolerância do gergelim a esses três herbicidas em pré-emergência. Os disponíveis concentram-se em dinitroanilinas e ureias substituídas (Grichar *et al.*, 2001; Grichar; Dotray; Langham, 2009; Lins *et al.*, 2020), e apenas o dicamba, entre os do Grupo 4 (O), foi avaliado anteriormente, com elevada fitotoxicidade e redução de estande e produtividade (Sperry *et al.*, 2017). Os resultados obtidos constituem, portanto, uma base inicial para essas moléculas nessa modalidade.

A elevada sensibilidade do gergelim a todos os mecanismos de ação avaliados em pré-emergência pode estar relacionada às características fisiológicas da cultura no início do desenvolvimento: sementes pequenas (2 a 3 mg) e com poucas reservas tornam as plântulas dependentes do rápido estabelecimento da fotossíntese, com capacidade de recuperação ainda limitada frente ao estresse químico. Sementes menores estão associadas a menor vigor de emergência e menor capacidade de suportar estresses por herbicidas residuais em outras espécies (Saballos *et al.*, 2025), o que oferece uma hipótese fisiológica plausível, embora não determine isoladamente a tolerância observada.

Essa sensibilidade também esteve associada às características do solo, restrita a um único herbicida. Os dois solos diferem em matéria orgânica (2,6 e 6,5 g dm⁻³, para o arenoso e o argiloso, respectivamente), e apenas o quinclorac apresentou interação significativa entre dose e tipo de solo, restrita à Época 1. Por se comportar como um ácido fraco, sua sorção pode ser influenciada pelo pH e pela matéria orgânica e frações minerais do solo. Em solos com menor teor desses componentes, maior fração do produto permanece disponível na solução, o que aumenta sua absorção pelas plântulas (Adams; Lym, 2015). Esse mecanismo explica a maior fitotoxicidade observada no solo arenoso, que apresenta menor teor de argila e matéria orgânica em relação ao argiloso. Como os solos diferiram simultaneamente em pH, CTC e saturação por bases, não é possível atribuir esse comportamento exclusivamente às condições do solo.

Para clomazona e fluroxipir-metílico, a ausência de interação entre os fatores indica que as diferenças edáficas avaliadas não foram suficientes para alterar a resposta da cultura à presença dos herbicidas. No caso da clomazona, isso é consistente com sua elevada solubilidade e baixa sorção (Włodarczyk; Siwek, 2016). Para o fluroxipir-metílico, esse resultado sugere que outros processos, como absorção, metabolismo ou sensibilidade da cultura, também podem ter contribuído para a resposta observada.

O dicamba causou níveis elevados de fitotoxicidade em pós-emergência, comparáveis aos do quinclorac nas maiores doses, ainda que os sintomas máximos tenham se manifestado mais lentamente. A percepção desse composto por receptores TIR1/AFB5 está associada à

indução de genes de biossíntese de etileno e ácido abscísico poucas horas após a aplicação, o que resulta em crescimento desordenado, epinastia e senescência (Gleason; Foley; Singh, 2011). A resposta também depende de absorção, translocação e metabolismo, processos historicamente associados à seletividade entre espécies (Chang; Vanden Born, 1971), que podem variar em mais de vinte vezes entre elas (Meyer *et al.*, 2020). No gergelim, a elevada sensibilidade provavelmente combina resposta fisiológica e possíveis diferenças na capacidade de metabolização. Os resultados são consistentes com o único estudo disponível sobre auxínicos em gergelim: Sperry *et al.* (2017) verificaram que o dicamba em pré-plantio causou as maiores reduções de estande e produtividade. Como a sensibilidade ao dicamba se manifesta tanto por absorção radicular quanto foliar, isso sugere que características intrínsecas da própria cultura, e não apenas a via de absorção ou o momento de aplicação, contribuem para essa sensibilidade.

O quinclorac também causou elevada fitotoxicidade em pós-emergência, com intensidade comparável à do dicamba nas doses mais altas, por mecanismo semelhante ao discutido para a pré-emergência (Fipke; Vidal, 2016; Song *et al.*, 2022), o que indica que a sensibilidade da cultura a esse herbicida independe da modalidade de aplicação.

O halauxifeno-metílico e o florpírauxifeno-benzílico tiveram fitotoxicidade intermediária e padrão de resposta semelhante entre si, o que é consistente com pertencerem ao mesmo grupo químico dos ácidos piridinocarboxílicos, e responderam de forma mais parecida um ao outro do que ao dicamba ou ao quinclorac, herbicidas de grupos químicos distintos tanto entre si quanto em relação aos ácidos piridinocarboxílicos. Isso sugere que agrupar os herbicidas apenas como mimetizadores de auxina não é suficiente para explicar as diferenças de fitotoxicidade: ambos pertencem à classe dos ácidos piridinocarboxílicos, com maior afinidade pelo receptor AFB5 em relação ao TIR1, o que pode contribuir para essa semelhança. O metabolismo de cada molécula também pode ter contribuído: em espécies naturalmente tolerantes a essa classe, como o trigo, a tolerância está associada principalmente à metabolização do herbicida e não apenas à afinidade do receptor (Obenland; Riechers, 2020), o que reforça a hipótese de que diferenças na capacidade de metabolização também podem contribuir para a resposta observada no gergelim.

Entre os quatro herbicidas de pós-emergência, o fluroxipir-metílico teve a menor fitotoxicidade, com injúrias leves mesmo nas maiores doses e em ambas as épocas, e foi o único a não causar fitotoxicidade elevada em nenhuma condição avaliada. Essa característica é consistente com sua atuação predominante via TIR1 (Grossmann, 2010), sem a via do etileno e do cianeto que caracteriza o quinclorac. Não foram identificados estudos revisados por pares

sobre a tolerância do gergelim a essas moléculas em pós-emergência, o que mantém a mesma lacuna já observada em pré-emergência.

Em pré-emergência, o ITM e a fitotoxicidade visual indicaram padrões semelhantes de sensibilidade, com o quinclorac apresentando o menor intervalo entre doses aplicadas e doses associadas a injúrias, seguido da clomazona e do fluroxipir-metílico. Em pós-emergência, porém, essa correspondência deixou de existir: as baixas doses efetivas estimadas para o halauxifeno-metílico e o florpírauxifeno-benzílico evidenciaram elevada sensibilidade quando a resposta foi integrada pelo ITM, o que contrasta com o padrão visual apenas intermediário desses dois herbicidas. Os ácidos piridinocarboxílicos foram avaliados em doses absolutas menores, coerente com suas recomendações comerciais naturalmente mais baixas. Ainda assim, quando o ED₁₀ é expresso como proporção da menor dose testada para cada ingrediente ativo, o florpírauxifeno-benzílico (27,4 %) e o halauxifeno-metílico (34,0 %) atingiram a redução de 10 % já nos primeiros pontos desse intervalo, o que sugere contribuição de fatores fisiológicos, possivelmente associados às características de percepção auxínica desses compostos e a diferenças na capacidade da cultura em metabolizá-los. Essa redução do crescimento vegetativo, refletida em menor altura e biomassa, pode ocorrer antes da manifestação de sintomas visuais severos como necrose, o que evidencia que a escala visual, isoladamente, pode subestimar o impacto real do herbicida sobre a cultura.

Em pré-emergência, a fitotoxicidade foi maior na Época 1. Dados da estação meteorológica de Lavras (INMET, 2025) indicam temperatura média inferior em setembro (21,4 °C) em relação a novembro (22,2 °C), padrão compatível com a hipótese de que temperaturas mais baixas reduzem o metabolismo dos herbicidas na planta e prolongam a exposição das plântulas (Bough; Gaines; Dayan, 2022). Em pós-emergência, o dicamba foi mais fitotóxico na Época 1, enquanto ácidos piridinocarboxílicos e fluroxipir-metílico foram mais severos na Época 2, diferença possivelmente associada a variações na absorção foliar, favorecida por maior umidade relativa (Ramsey; Stephenson; Hall, 2005).

Entre os seis herbicidas avaliados, o fluroxipir-metílico foi o único em que foi verificada elevada tolerância do gergelim nas modalidades de pré e pós-emergência, com potencial para avanço à validação em campo. Em ambas as modalidades, o ED₂₀ estimado pelo ITM ultrapassou a própria menor dose testada (125,3 % em pré-emergência e 151,4 % em pós-emergência), reforçando essa elevada tolerância mesmo para reduções mais expressivas de crescimento. Os demais apresentaram baixo potencial de uso nas condições avaliadas: a viabilidade da clomazona pode depender de tecnologias de redução da fitotoxicidade, como

safeners; o quinclorac teve o resultado menos favorável, com elevada sensibilidade somada à dependência das propriedades do solo; e o dicamba mostrou-se incompatível com a tolerância do gergelim nas doses testadas. O halauxifeno-metílico e o florpirauxifeno-benzílico merecem atenção especial: a fitotoxicidade visual moderada poderia sugerir tolerância maior do que a real, mas o ITM mostra que ambos comprometem o crescimento em frações menores que a da menor dose testada.

Este estudo apresenta limitações relevantes para a interpretação dos resultados: a ausência de controle automatizado de temperatura, umidade e luminosidade impede atribuir diretamente as diferenças entre épocas a fatores ambientais específicos, e as avaliações se restringiram ao desempenho vegetativo, sem contemplar produtividade e qualidade de sementes, determinantes para qualquer recomendação comercial. Esses resultados fornecem, ainda assim, uma base importante para priorizar moléculas e faixas de dose para validação em campo e contribuem para o desenvolvimento de estratégias mais seguras de controle químico do gergelim.

5 CONCLUSÃO

O gergelim apresentou elevada tolerância ao fluroxipir-metílico em pré e pós-emergência, sendo o único herbicida com resposta favorável nas duas modalidades e com potencial para validação em campo. Em pré-emergência, a cultura apresentou maior sensibilidade à clomazona e ao quinclorac. Em pós-emergência, dicamba e quinclorac causaram elevada fitotoxicidade, enquanto halauxifeno-metílico e florpirauxifeno-benzílico comprometeram o crescimento em doses proporcionalmente baixas, apesar da fitotoxicidade visual intermediária.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J. W.; LYM, R. G. Quinclorac and aminocyclopyrachlor movement in sandy soils. **Invasive Plant Science and Management**, v. 8, n. 3, p. 269-278, 2015. DOI: 10.1614/IPSM-D-14-00070.1.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. de T.; BELTRÃO, N. E. de M.; SOARES, J. J.; ARAÚJO, A. E. de; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. **A cultura do gergelim**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 72 p.

BERETA, S. F.; NOHATTO, M. A.; ROSA, E. de F. F. da; KASEKER, J. F.; SANTOS, M. C. dos; WITTER, A. P. W. Seletividade de herbicidas em pós-emergência e controle de plantas daninhas no gergelim. **Agrarian**, v. 14, n. 51, p. 27-35, 2021. DOI: 10.30612/agrarian.v14i51.11569.

BHADAURIA, N.; YADAV, K. S.; RAJPUT, R. L.; SINGH, V. B. Integrated weed management in sesame (*Sesamum indicum* L.). **Indian Journal of Weed Science**, v. 44, n. 4, p. 235-237, 2012.

BOUGH, R. A.; GAINES, T. A.; DAYAN, F. E. Low temperature delays metabolism of quizalofop in resistant winter wheat and three annual grass weed species. **Frontiers in Agronomy**, v. 3, art. 800731, 2022. DOI: 10.3389/fagro.2021.800731.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **AGROFIT**. Brasília, DF, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>. Acesso em: 11 jun. 2026.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; VAN RAIJ, B. (ed.). Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico (IAC), 2022. 500 p.

CHANG, F. Y.; VANDEN BORN, W. H. Dicamba uptake, translocation, metabolism, and selectivity. **Weed Science**, v. 19, n. 1, p. 113-117, 1971. DOI: 10.1017/S0043174500048414.

CHRISTO, B. F.; LORENZONI, R. M.; MARQUES JUNIOR, E.; NÓIA JÚNIOR, R. S.; PAGOTTO, L. O. Sesame: a viable economic alternative for off-season double cropping systems in Mato Grosso, Brazil. **Agrometeoros**, v. 32, e027707, 2024. DOI: 10.31062/agrom.v32.e027707.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; NICOLAI, M. Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. 4. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2016. 262 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim da safra de grãos: 7º levantamento – safra 2025/26**. Brasília, DF: CONAB, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/>. Acesso em: 11 jun. 2026.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; OLIVEIRA, N. T. de. Manejo integrado de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 67-78.

DOSSA, K. F.; ENETE, A. A.; MIASSI, Y. E.; OMOTAYO, A. O. Economic analysis of sesame (*Sesamum indicum* L.) production in Northern Benin. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, art. 1015122, 2023. DOI: 10.3389/fsufs.2022.1015122.

EPP, J. B. *et al.* The discovery of Arylex active and Rinskor active: two novel auxin herbicides. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 24, n. 3, p. 362-371, 2016. DOI: 10.1016/j.bmc.2015.08.011.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL (EWRC). Committee of Methods in Weed Research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964. DOI: 10.1111/j.1365-3180.1964.tb00275.x.

FERHATOGLU, Y.; BARRETT, M. Studies of clomazone mode of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 85, n. 1, p. 7-14, 2006. DOI: 10.1016/j.pestbp.2005.10.002.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n.4, p. 529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

FIPKE, M. V.; VIDAL, R. A. Integrative theory of the mode of action of quinclorac: literature review. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 393-402, 2016. DOI: 10.1590/S0100-83582016340200020.

GLEASON, C.; FOLEY, R. C.; SINGH, K. B. Mutant analysis in *Arabidopsis* provides insight into the molecular mode of action of the auxinic herbicide dicamba. **PLoS ONE**, v. 6, n. 3, art. e17245, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0017245.

GRICHAR, W. J.; SESTAK, D. C.; BREWER, K. D.; BESLER, B. A.; STICHLER, C. R.; SMITH, D. T. Sesame (*Sesamum indicum* L.) tolerance and weed control with soil-applied herbicides. *Crop Protection*, v. 20, n. 5, p. 389-394, 2001. DOI: 10.1016/S0261-2194(00)00147-2.

GRICHAR, W. J.; DOTRAY, P. A.; LANGHAM, D. R. Sesame (*Sesamum indicum* L.) response to preemergence herbicides. **Crop Protection**, v. 28, n. 11, p. 928-933, 2009. DOI: 10.1016/j.cropro.2009.07.013.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. 113-120, 2010. DOI: 10.1002/ps.1860.

LINS, H. A.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVA, D. V.; SOUZA, M. de F.; FREITAS, M. A. M. de; SOARES, E. B.; PORTO, M. A. F.; MESQUITA, H. C. de; OLIVEIRA, F. S. de. Effectivity and selectivity of herbicides applied in pre-emergence in the sesame (*Sesamum indicum* L.) crop. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 52, n. 2, p. 325-336, 2020.

LINS, H. A.; SOUZA, M. F.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; SANTOS, M. G.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVA, D. V. Weed interference periods in sesame crop. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, e819, 2019. DOI: 10.1590/1413-7054201943000819.

MANE, S. V.; KANADE, V. M.; SHENDAGE, G. B.; SARAWALE, P. P.; SHETYE, V. N. Weed management in sesame (*Sesamum indicum* L.) grown under coastal region of Maharashtra. **Journal of the Indian Society of Coastal Agricultural Research**, v. 35, n. 1, p. 31-33, 2017.

MANE, S. V.; KANADE, V. M.; MHASHELKAR, A. U. Effect of mechanical and chemical weed control measures on yield and economics of sesame. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, p. 2979-2983, 2018.

MEYER, C. J.; PETER, F.; NORSWORTHY, J. K.; BEFFA, R. Uptake, translocation, and metabolism of glyphosate, glufosinate, and dicamba mixtures in *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus palmeri*. **Pest Management Science**, v. 76, n. 9, p. 3078-3087, 2020. DOI: 10.1002/ps.5859.

OBENLAND, O. A.; RIECHERS, D. E. Identification of chromosomes in *Triticum aestivum* possessing genes that confer tolerance to the synthetic auxin herbicide halauxifen-methyl. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, art. 8713, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-65434-x.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; INOUE, M. H. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 243-262.

ORTMEIER-CLARKE, H. J.; OLIVEIRA, M. C.; ARNESON, N. J.; CONLEY, S. P.; WERLE, R. Dose-response screening of industrial hemp to herbicides commonly used in corn and soybean. **Weed Technology**, v. 36, n. 2, p. 245-252, 2022. DOI: 10.1017/wet.2021.105.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985

PRUSINSKA, J.; UZUNOVA, V.; SCHMITZER, P.; WEIMER, M.; BELL, J.; NAPIER, R. M. The differential binding and biological efficacy of auxin herbicides. **Pest Management Science**, v. 79, n. 4, p. 1305-1315, 2023. DOI: 10.1002/ps.7294.

QUEIROGA, V. P.; FREIRE, R. M. M.; FIRMINO, P. T.; MARINHO, D. R. F.; SILVA, A. C.; BARBOSA, W. T.; QUEIROGA, D. A. N. Avaliação da qualidade das sementes de gergelim submetidas aos processos de despeliculação manual, físico e mecânico. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 4, p. 307-315, 2012.

RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. A review of the effects of humidity, humectants, and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 82, n. 2, p. 162-175, 2005. DOI: 10.1016/j.pestbp.2005.02.005.

SABALLOS, A.; WILLIAMS, M. M. Linking herbicide cross-tolerance to agronomic and seed vigor traits: a multi-trait genome-wide association study in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop Science**, 2025. DOI: 10.1002/csc2.70201.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 531 p.

SILVA, A. N. *et al.* Herbicidas pré-emergentes como ferramenta estratégica no manejo integrado de plantas daninhas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 22, n. 54, p. 94-116, 2025. DOI: 10.18677/EnciBio_2025D6.

SOFIATTI, V.; COSTA, A. G. F.; CAVALIERI, S. D.; MARTINS, L. S.; PEREIRA, C. L.; SILVA, T. R. B.; CLEMENTE, V. V. Selectivity of herbicides applied in preemergence and diuron in postemergence for sesame. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, n. 4, p. 15-27, 2021. DOI: 10.5296/jas.v9i4.18981.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 13. ed. Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2022.

SONG, D.; JIANG, X.; WANG, D.; FANG, S.; ZHOU, H.; KONG, F. From the effective herbicide to the environmental contaminant: a review of recent studies on quinclorac. **Environmental and Experimental Botany**, v. 193, art. 104706, 2022. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2021.104706.

SPERRY, B. P.; FERRELL, J. A.; LEON, R. G.; ROWLAND, D. L.; MULVANEY, M. J.; DIAS, J. L. C. S. Sesame tolerance to preplant applications of 2,4-D and dicamba. **Weed Technology**, v. 31, n. 4, p. 590-598, 2017. DOI: 10.1017/wet.2017.37.

TAMBURINI, G.; BOMMARCO, R.; WANGER, T. C.; KREMEN, C.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; LIEBMAN, M.; HALLIN, S. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. **Science Advances**, v. 6, n. 45, art. eaba1715, 2020. DOI: 10.1126/sciadv.aba1715.

TEIXEIRA, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual of soil analysis methods**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.

VERMA, A.; BAKOLIYA, M.; CHOUDHARY, R.; SINGH, L.; KACHHWAHA, S.; GODIKA, S.; JAIN, R. Recent technology interventions for agronomic traits enhancement in Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss.]. **Scientia Horticulturae**, v. 338, art. 113542, 2024. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.113542.

WŁODARCZYK, M.; SIWEK, H. Influence of formulation on mobility of clomazone in soil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 97, n. 4, p. 582-587, 2016. DOI:10.1007/s00128-016-1903-7.

TERCEIRA PARTE

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As três culturas avaliadas nesta dissertação, *Brassica carinata*, *Brassica juncea* e *Sesamum indicum*, compartilham um cenário de limitada disponibilidade de herbicidas registrados no Brasil, o que restringe as opções de controle químico e dificulta a expansão dessas culturas. Embora obtidos em casa de vegetação, os resultados apresentados constituem uma base inicial para orientar estudos de validação em campo e subsidiar futuras discussões sobre a ampliação do registro de herbicidas para essas espécies.

A comparação entre os três estudos revelou um padrão consistente entre as Brassicáceas avaliadas para o quinclorac. O herbicida apresentou elevada tolerância tanto na carinata quanto na mostarda-indiana, em pré e pós-emergência, resultado compatível com seu registro para *Brassica juncea* no Canadá. No gergelim, entretanto, o quinclorac esteve entre os herbicidas que causaram as maiores injúrias, evidenciando que esse padrão não se estende a espécies de outras famílias botânicas. Assim, entre os ingredientes ativos avaliados, o quinclorac destaca-se como o principal indicado para validação em campo nas Brassicáceas estudadas, além de justificar investigações sobre sua tolerância em outras espécies cultivadas do gênero *Brassica*.

Em contraste, os demais herbicidas, especialmente os mimetizadores de auxina mais recentes, apresentaram respostas dependentes da espécie e, em alguns casos, da modalidade de aplicação. Na carinata, por exemplo, o fluroxipir-metílico apresentou comportamento contrastante entre pré e pós-emergência, enquanto no gergelim essa mesma molécula manteve tolerância elevada nas duas modalidades, um contraste direto entre as duas culturas para o mesmo ingrediente ativo. Na mostarda-indiana, por sua vez, o halauxifeno-metílico apresentou elevada tolerância. Esses resultados demonstram que a tolerância não pode ser prevista apenas pelo mecanismo de ação ou pela classe química dos herbicidas, devendo ser determinada experimentalmente para cada espécie e modalidade de aplicação.

Em conjunto, os três estudos demonstram que a resposta aos herbicidas é altamente dependente da espécie avaliada e, em alguns casos, também da modalidade de aplicação. Dessa forma, a extrapolação de resultados entre culturas deve ser feita com cautela, sobretudo entre espécies de famílias botânicas distintas. Esta dissertação amplia o conhecimento sobre a tolerância de oleaginosas emergentes a herbicidas e fornece subsídios para o planejamento de estudos de campo e para o desenvolvimento de estratégias de controle químico mais seguras para essas culturas.