

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ROBSON DONATO COELHO

CONTROLE DA SOJA VOLUNTÁRIA TOLERANTE À SULFONILUREIA COM
HERBICIDAS AUXÍNICOS EM DOIS ESTÁGIOS DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO
TRIGO

PONTA GROSSA

2026

ROBSON DONATO COELHO

CONTROLE DA SOJA VOLUNTÁRIA TOLERANTE À SULFONILUREIA COM
HERBICIDAS AUXÍNICOS EM DOIS ESTÁGIOS DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO
TRIGO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia na área de Plantas daninhas e resistência aos herbicidas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Neumárcio Vilanova da Costa.

Coorientador: Prof.º Dr.º Giliardi Dalazen.

PONTA GROSSA

2026

C672 Coelho, Robson Donato

Controle de soja STS voluntária tolerante á sulfonilureia com herbicidas auxínicos em dois estágios de aplicação na cultura do trigo / Robson Donato Coelho. Ponta Grossa, 2026.

62 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa.
Coorientador: Prof. Dr. Giliardi Dalazen.

1. Trigo - Controle de plantas daninhas. 2. Soja guaxa. 3. Plantas voluntárias. 4. Herbicidas auxínicos. I. Costa, Neumárcio Vilanova da. II. Dalazen, Giliardi. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Agricultura. IV.T.

CDD: 633.11



ROBSON DONATO COELHO

**“CONTROLE DA SOJA VOLUNTÁRIA TOLERANTE À SULFONILUREIA COM HERBICIDAS
AUXÍNICOS EM DOIS ESTÁGIOS DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO TRIGO”.**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia na Universidade Estadual de
Ponta Grossa. Área: Fitotecnia e Fitossanidade.

Ponta Grossa, 12 de fevereiro de 2026.

Documento assinado digitalmente
 **NEUMARCIO VILANOVA DA COSTA**
Data: 14/02/2026 11:42:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Neumarcio Vilanova da Costa
Doutor em Agronomia
UEPG

Documento assinado digitalmente
 **ARIADNE WAURECK**
Data: 18/02/2026 18:02:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ariadne Waureck
Doutor em Agronomia
CESCAGE

Documento assinado digitalmente
 **SILVIO DOUGLAS FERREIRA**
Data: 18/02/2026 19:02:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Silvio Douglas Ferreira
Doutor em Agronomia
UENP

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho representa não apenas o encerramento de um ciclo acadêmico, mas o resultado de uma jornada compartilhada com pessoas extraordinárias, às quais dedico minha profunda gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus, por iluminar meu caminho, fortalecer minha fé nos momentos de dificuldade e permitir que eu chegasse até aqui com saúde, determinação e perseverança. Toda sabedoria e força provêm Dele.

À minha amada esposa, Thaisa Gomes Brandt, meu porto seguro e fonte inesgotável de amor, compreensão e apoio incondicional. Obrigado por estar ao meu lado em cada desafio, por compreender as ausências, por acreditar em mim quando eu mesmo duvidava, e por transformar esta jornada em algo mais leve e significativo. Sem você, nada disso teria o mesmo valor.

Aos meus familiares e amigos, que sempre me incentivaram e torceram pelo meu sucesso, oferecendo palavras de encorajamento e compreendendo os momentos de distância necessários para a dedicação a este trabalho. O apoio de vocês foi fundamental para que eu mantivesse o foco e a motivação.

Ao pesquisador e amigo Guilherme de Camargo Huller, meu especial agradecimento pelo apoio técnico, pelas valiosas discussões científicas, pela parceria nos experimentos e, acima de tudo, pela amizade genuína que transcende o ambiente profissional. Seu auxílio foi imprescindível para a realização deste trabalho.

À Corteva Agriscience, empresa que me proporciona não apenas crescimento profissional, mas também o ambiente e os recursos necessários para buscar constante aperfeiçoamento. Agradeço pela confiança depositada em mim e pelo apoio institucional que tornou possível conciliar trabalho e pós-graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Neumárcio Vilanova da Costa, pela confiança, orientação segura e ensinamentos que transcendem o conteúdo técnico desta pesquisa.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Giliardi Dalazen, minha profunda gratidão por ter me auxiliado de inúmeras maneiras ao longo desta jornada. Suas orientações precisas, sua disponibilidade constante, suas revisões criteriosas e seu comprometimento com a excelência

foram determinantes para a qualidade deste trabalho. Obrigado por acreditar no potencial desta pesquisa e por me desafiar a sempre buscar o melhor.

Ao Colegiado e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UEPG, pela oportunidade de integrar este programa de excelência, pela estrutura oferecida e pelo compromisso com a formação de profissionais qualificados. Agradeço também a todos os professores que compartilharam seus conhecimentos e contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos colegas da pós-graduação, pela convivência enriquecedora, pelas trocas de experiências, pelo companheirismo e pelos momentos de aprendizado coletivo. A jornada acadêmica se torna mais leve quando compartilhada com pessoas que enfrentam os mesmos desafios e celebram as mesmas conquistas.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero muito obrigado. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada ensinamento recebido foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Esta conquista não é apenas minha, mas de todos vocês que fizeram parte desta caminhada.

“Para tudo há um tempo, para cada coisa há um momento debaixo do céu:
tempo de nascer e tempo de morrer, tempo de plantar e tempo de arrancar
o que foi plantado.”

Eclesiastes 3:1-2.

RESUMO

A soja voluntária (guaxa ou tigüera) originada de grãos perdidos durante a colheita constitui problema crescente no sistema de sucessão soja-trigo, competindo por recursos e atuando como ponte verde para doenças. O controle químico com herbicidas auxínicos representa alternativa viável, porém sua eficiência e seletividade são dependentes de múltiplos fatores. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de controle de soja STS (tolerante a sulfonilureias) voluntária e a seletividade para a cultura do trigo de herbicidas auxínicos aplicados em diferentes doses e estádios fenológicos. Foram conduzidos dois experimentos em Ponta Grossa, PR, nas safras 2024 e 2025, em delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Foram testados quatro herbicidas auxínicos: florpyrauxifen-benzyl (arylpicolinato; 0,4, 1,0, 1,3 e 2,0 L ha⁻¹), picloram (ácido piridino-carboxílico; 0,5, 1,0, 1,25 e 2,0 L ha⁻¹), triclopyr (ácido piridino-carboxílico; 0,75, 1,5, 1,75 e 2,5 L ha⁻¹) e dicamba (ácido benzóico; 0,5, 1,0, 1,3 e 2,0 L ha⁻¹), em quatro doses crescentes, aplicados em dois estádios fenológicos do trigo: E1 (Zadoks 31-32, alongação, 42-55 dias após a semeadura) e E2 (Zadoks 21-25, perfilhamento, 28-33 dias após a semeadura). Foram avaliadas a eficiência de controle de soja voluntária até 35 dias após a aplicação (DAA), redução de massa seca da parte aérea do trigo e produtividade de grãos. Florpyrauxifen-benzyl apresentou a maior eficiência de controle (80,2-83,5%), seguido por picloram (74,6-75,6%), triclopyr (58,1-60,8%) e dicamba (45,0-56,8%). O estádio E1 proporcionou maior eficiência de controle (2-5 pontos percentuais) em relação ao E2 para todos os herbicidas. A seletividade para o trigo foi fortemente dependente das condições climáticas, com geadas na Safra 2024 resultando em maior fitotoxicidade. Florpyrauxifen-benzyl apresentou o melhor perfil de seletividade (redução de massa seca < 5%). Picloram causou perdas de produtividade de 18-21% em relação à testemunha. As produtividades na Safra 2025 (35,7-49,2 sacas ha⁻¹) foram superiores à Safra 2024 (22,0-33,5 sacas ha⁻¹), evidenciando o impacto das geadas. Para controle eficaz ($\geq 80\%$) com seletividade aceitável, recomenda-se florpyrauxifen-benzyl 1,3-2,0 L ha⁻¹ (25,9-39,8 g e.a. ha⁻¹) aplicado no E1 (sob condições favoráveis) ou E2 (sob condições adversas). Dicamba e triclopyr não são recomendados devido à eficiência insuficiente (< 80%). Conclui-se que a eficiência de controle e a seletividade de herbicidas auxínicos são dependentes da formulação, dose, estádio fenológico e condições climáticas, confirmando a hipótese do estudo. No presente estudo, o florpyrauxifen-benzyl apresentou o melhor resultado para o manejo de soja STS voluntária em trigo no sistema de sucessão da região dos Campos Gerais do Paraná.

Palavras-chave: Soja Voluntária, plantas voluntárias, herbicidas auxínicos, *Glycine max*.

ABSTRACT

Volunteer soybean originating from grains lost during harvest constitutes a growing problem in the soybean-wheat succession system, competing for resources and acting as a green bridge for diseases. Chemical control with auxinic herbicides represents a viable alternative, but their efficiency and selectivity depend on multiple factors. The objective of this study was to evaluate the efficiency of control of volunteer STS (sulfonylurea-tolerant) soybean and the selectivity for wheat crop of auxinic herbicides applied at different doses and phenological stages. Two experiments were conducted in Ponta Grossa, PR, Brazil, during the 2024 and 2025 growing seasons, in a randomized complete block design with split-plots and four replications. Four auxinic herbicides were tested: florypyrauxifen-benzyl (arylpicolinate; 0.4, 1.0, 1.3, and 2.0 L ha⁻¹), picloram (picolinic acid; 0.5, 1.0, 1.25, and 2.0 L ha⁻¹), triclopyr (picolinic acid; 0.75, 1.5, 1.75, and 2.5 L ha⁻¹), and dicamba (benzoic acid; 0.5, 1.0, 1.3, and 2.0 L ha⁻¹), at four increasing doses, applied at two wheat growth stages: E1 (Zadoks 31-32, stem elongation, 42-55 days after sowing) and E2 (Zadoks 21-25, tillering, 28-33 days after sowing). Volunteer soybean control efficiency at 35 days after application (DAA), wheat shoot dry mass reduction, and grain yield were evaluated. Florypyrauxifen-benzyl showed the highest control efficiency (80.2-83.5%), followed by picloram (74.6-75.6%), triclopyr (58.1-60.8%), and dicamba (45.0-56.8%). Stage E1 provided higher control efficiency (2-5 percentage points) compared to E2 for all herbicides. Selectivity for wheat was strongly dependent on climatic conditions, with frosts in the 2024 season resulting in greater phytotoxicity. Florypyrauxifen-benzyl showed the best selectivity profile (dry mass reduction < 5%). Picloram caused yield losses of 18-21% compared to the untreated control. Yields in the 2025 season (35.7-49.2 bags ha⁻¹) were higher than in the 2024 season (22.0-33.5 bags ha⁻¹), evidencing the impact of frosts. For effective control (≥ 80%) with acceptable selectivity, florypyrauxifen-benzyl 1.3-2.0 L ha⁻¹ (25.9-39.8 g a.e. ha⁻¹) applied at E1 (under favorable conditions) or E2 (under adverse conditions) is recommended. Dicamba and triclopyr are not recommended due to insufficient efficiency (< 80%). It is concluded that the control efficiency and selectivity of auxinic herbicides are dependent on formulation, dose, phenological stage, and climatic conditions, confirming the study hypothesis. In the present study, florypyrauxifen-benzyl showed the best result for managing volunteer STS soybean in wheat in the succession system of the Campos Gerais region of Paraná, Brazil.

Keywords: Volunteer soybean, volunteer plants, auxinic herbicides, *Glycine max*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 HIPÓTESE	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 CULTURA DO TRIGO: IMPORTÂNCIA E FENOLOGIA	15
4.2 TECNOLOGIAS DE TOLERÂNCIA A HERBICIDAS NA SOJA.....	16
4.3 SOJA VOLUNTÁRIA: ORIGEM E IMPORTÂNCIA COMO PLANTA DANINHA....	16
4.4 DESAFIOS NO CONTROLE QUÍMICO DA SOJA VOLUNTÁRIA TOLERANTE À SULFONILUREIA.....	17
4.5 HERBICIDAS AUXÍNICOS: MECANISMOS DE AÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	18
4.5.1 Dicamba (ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzóico).....	19
4.5.2 Florpyrauxifen-benzyl (Arylex™).....	19
4.5.3 Picloram (ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico).....	20
4.5.4 Triclopyr (ácido 3,5,6-tricloro-2-piridinil oxi acético).....	20
4.6 TOLERÂNCIA DO TRIGO AOS HERBICIDAS AUXÍNICOS.....	20
4.7 EFEITO DA DOSE, DO ESTÁDIO DE APLICAÇÃO E DO AMBIENTE.....	21
5 MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
5.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	24
5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	24
5.4 SEMEADURA E INFESTAÇÃO COM SOJA VOLUNTÁRIA	26
5.5 APLICAÇÃO DOS HERBICIDAS.....	27
5.6 MANEJO FITOSSANITÁRIO E CONTROLE DE OUTRAS PLANTAS DANINHAS.	27

5.7 AVALIAÇÕES.....	28
5.7.1 Avaliação visual de controle da soja voluntária	28
5.7.2 Avaliação de fitotoxicidade no trigo.....	29
5.7.3 Avaliação de massa seca.....	30
5.7.4 Avaliação de produtividade	31
5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
6.1 EFICIÊNCIA DE CONTROLE DA SOJA STS VOLUNTÁRIA.....	33
6.1.1 Florpyrauxifen-benzyl.....	33
6.1.2 Picloram.....	34
6.1.3 Triclopyr.....	35
6.1.4 Dicamba.....	36
6.2 EFEITO DA DOSE E DO ESTÁDIO DE APLICAÇÃO NO CONTROLE.....	37
6.2.1 Florpyrauxifen-benzyl.....	38
6.2.2 Picloram.....	40
6.2.3 Triclopir	41
6.2.4 Dicamba.....	43
6.2.5 Considerações sobre dose e estágio.....	44
6.3 SELETIVIDADE E FITOTOXICIDADE DOS HERBICIDAS AO TRIGO.....	44
6.3.1 Fitotoxicidade em função do herbicida e da dose.....	45
6.3.2 Evolução temporal da fitotoxicidade.....	46
6.3.3 Considerações sobre seletividade	47
6.4 EFEITO DOS HERBICIDAS SOBRE A MASSA SECA DA PARTE AÉREA DO TRIGO	48
6.4.1 Safra 2024.....	48
6.4.2 Safra 2025.....	50
6.4.3 Considerações sobre massa seca e seletividade.....	51

6.5 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DO TRIGO.....	52
6.5.1 Safra 2024.....	52
6.5.2 Safra 2025.....	53
6.5.3 Considerações sobre produtividade.....	54
7 CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) figura entre os cereais mais importantes para a segurança alimentar mundial (FAO, 2023). No Brasil, a cultura ocupou cerca de 3,0 milhões de hectares na safra 2024/25, com produção estimada em 8,9 milhões de toneladas, sendo o Paraná o principal estado produtor (CONAB, 2024). Ainda assim, o país apresenta déficit produtivo e importa em torno de 6,65 milhões de toneladas por ano para suprir a demanda interna (CONAB, 2024; ABITRIGO, 2024), o que torna estratégico o incremento da produtividade da cultura.

Entre os fatores que limitam a produtividade do trigo, a interferência de plantas daninhas destaca-se pela competição por água, luz e nutrientes, sobretudo no período crítico situado entre 12 e 24 dias após a emergência (Agostinetto et al., 2008). A magnitude das perdas varia conforme a densidade de infestação, o estágio fenológico da cultura e as condições ambientais, podendo superar 50% em situações de alta infestação (Lamego et al., 2004).

O controle químico constitui a principal ferramenta de manejo de plantas daninhas, e a biotecnologia ampliou suas possibilidades por meio de cultivares tolerantes a herbicidas (Heap, 2014; Duke; Powles, 2008). Na soja, destaca-se a tecnologia STS (Sulfonylurea Tolerant Soybeans), obtida por mutagênese e que confere tolerância a herbicidas inibidores da ALS do grupo das sulfonilureias (Sebastian et al., 1989). Contudo, a dependência de poucos mecanismos de ação selecionou biótipos resistentes e alterou a composição das comunidades de plantas daninhas (Norsworthy et al., 2014; Busi et al., 2018).

No sistema de sucessão soja-trigo, amplamente adotado nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil, soma-se a esse cenário a presença de plantas voluntárias de soja (“tigueras” ou “guaxas”) na cultura do trigo, originadas de sementes perdidas na colheita (Adegas et al., 2014; Gazola et al., 2021). Essas perdas variam de 60 a 180 kg ha⁻¹, e densidades superiores a 3–4 plantas m⁻² já causam reduções significativas de produtividade (Adegas et al., 2014).

A soja voluntária no trigo gera dois problemas principais. O primeiro é a competição por recursos, favorecida pelo rápido crescimento inicial e pela elevada capacidade competitiva da espécie (Colombo et al., 2022). O segundo é fitossanitário: a soja voluntária atua como “ponte verde”, hospedando *Phakopsora pachyrhizi* e comprometendo a eficácia do vazio sanitário ao manter o inóculo da ferrugem-asiática na entressafra (Godoy et al., 2016; MAPA, 2022).

O controle químico dessa planta daninha torna-se desafiador porque cultivares STS toleram os inibidores da ALS tradicionalmente usados no trigo, como chlorimuron-ethyl e metsulfuron-methyl (Albrecht et al., 2018; Gazola et al., 2021). Nesse contexto, os herbicidas mimetizadores de auxinas (Grupo HRAC O) despontam como alternativa, pois sua ação não é afetada pela tolerância à sulfonilureia (Grossmann, 2010). O grupo reúne diferentes famílias químicas — ácidos benzóicos (dicamba), ácidos piridino-carboxílicos (triclopyr, picloram) e arylpicolinatos (florpyrauxifen-benzyl) —, cuja seletividade ao trigo depende da dose aplicada, do estágio fenológico no momento da aplicação e das condições ambientais, como baixas temperaturas e geadas, que ampliam a fitotoxicidade mesmo em doses recomendadas (Zollinger et al., 2006; Colombo et al., 2022).

Apesar dos avanços, persistem lacunas quanto à definição de doses e estádios de aplicação adequados ao controle da soja voluntária tolerante à sulfonilureia em trigo, uma vez que a maior parte dos estudos se concentra em cultivares RR ou Enlist™. A variabilidade de respostas relatada na literatura reforça a necessidade de avaliações regionalizadas e sob diferentes cenários de manejo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de controle da soja voluntária tolerante à sulfonilureia (*Glycine max* L.) e a seletividade para a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) de herbicidas auxínicos aplicados em diferentes doses e estádios fenológicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a dose de cada herbicida auxínico (dicamba, picloram, triclopyr e florpyrauxifen-benzyl) necessária para o controle eficaz ($\geq 80\%$) da soja voluntária tolerante à sulfonilureia, em função do estágio fenológico de aplicação no trigo;

Determinar a dose de cada herbicida auxínico seletiva à cultura do trigo, com base em avaliações de massa seca, componentes de rendimento e produtividade de grãos, em função do estágio fenológico de aplicação;

Identificar, para cada herbicida, as combinações de dose e estágio de aplicação que conciliem controle eficaz da soja voluntária ($\geq 80\%$) e seletividade aceitável ao trigo (fitotoxicidade $\leq 10\%$ e ausência de perdas de produtividade).

3 HIPÓTESE

A hipótese do presente estudo consiste em verificar se a eficiência de controle da soja voluntária tolerante à sulfonilureia e a seletividade ao trigo dos herbicidas auxínicos são dependentes (i) do herbicida (grupo químico), (ii) da dose aplicada e (iii) do estágio fenológico de aplicação.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CULTURA DO TRIGO: IMPORTÂNCIA E FENOLOGIA

Originário do sudoeste da Ásia, o trigo (*Triticum aestivum* L.) foi um dos primeiros cereais domesticados pela humanidade e consolidou-se como uma das culturas de maior importância global (Shewry, 2009). No Brasil, o cultivo concentrou-se historicamente na Região Sul, em razão das condições bioclimáticas favoráveis, e desempenha papel estratégico nos sistemas de produção de grãos não apenas pela conservação do solo e ciclagem de nutrientes, mas, sobretudo, pelo manejo integrado de plantas daninhas, ao permitir a rotação de mecanismos de ação de herbicidas e a quebra do ciclo de espécies resistentes selecionadas na safra de verão (Cunha et al., 2011; Lamego et al., 2013; Gazola et al., 2021).

Na safra 2024, a área cultivada com trigo no Brasil foi de aproximadamente 3,0 milhões de hectares e a produção, estimada em 8,9 milhões de toneladas, com a Região Sul concentrando cerca de 90% do total, com destaque para o Rio Grande do Sul e o Paraná (CONAB, 2024). No Paraná, a produção alcançou cerca de 2,9 milhões de toneladas, o que corresponde a aproximadamente 30% da produção nacional (SEAB-PR, 2024). Apesar desse volume, a produção doméstica não supre a demanda interna, estimada entre 12 e 14 milhões de toneladas anuais, o que coloca o país entre os maiores importadores globais do cereal e reforça a necessidade de estratégias agronômicas que maximizem a produtividade nacional (ABITRIGO, 2024; MDIC, 2024).

O ciclo de desenvolvimento do trigo determina o posicionamento das práticas de manejo. Os estádios de perfilhamento e alongação destacam-se como os mais críticos para a definição do potencial produtivo e para a intervenção química (Large, 1954; Zadoks et al., 1974). Durante o perfilhamento (estádios 20–29 da escala de Zadoks), a planta apresenta intensa atividade metabólica e capacidade de compensação, o que lhe confere maior tolerância a estresses e a herbicidas seletivos. Já na transição para a alongação (estádios 30–39), as mudanças fisiológicas que definem o número de espiguetas por espiga tornam a cultura mais sensível, de modo que intervenções inadequadas nessa fase podem comprometer irreversivelmente os componentes de rendimento (McMaster, 1997; Agostinetto et al., 2008).

4.2 TECNOLOGIAS DE TOLERÂNCIA A HERBICIDAS NA SOJA

O desenvolvimento da biotecnologia aplicada à agricultura proporcionou avanços significativos no manejo de plantas daninhas, sobretudo por meio de cultivares com tolerância a herbicidas, que ampliaram as opções de controle químico em pós-emergência sem danos à cultura (Skelton et al., 2017; Gazziero et al., 2019).

Entre as principais tecnologias, a Roundup Ready® (RR) foi a primeira amplamente adotada e confere tolerância ao glifosato, inibidor da enzima EPSPs (Padgett et al., 1995; Duke; Powles, 2008). A tecnologia STS (Sulfonylurea Tolerant Soybeans), obtida por melhoramento convencional, confere tolerância a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), permitindo o controle de dicotiledôneas de difícil manejo (Saari et al., 1994). Mais recentemente, as tecnologias Enlist E3™ e Xtend® passaram a conferir tolerância a herbicidas auxínicos — 2,4-D colina e dicamba, respectivamente —, desenvolvidas como resposta à pressão de seleção de plantas daninhas resistentes ao glifosato (Behrens et al., 2007; Wright et al., 2010).

Embora importantes para o manejo integrado, por permitirem a rotação de mecanismos de ação e o controle de espécies de difícil manejo, a adoção contínua e intensiva dessas tecnologias trouxe consequências não previstas, com destaque para a presença de plantas voluntárias nos sistemas de sucessão de culturas (Norsworthy et al., 2014; Gazziero et al., 2019).

4.3 SOJA VOLUNTÁRIA: ORIGEM E IMPORTÂNCIA COMO PLANTA DANINHA

As plantas voluntárias, conhecidas regionalmente como “tigueras” ou “guaxas”, são indivíduos da cultura anterior que emergem na safra subsequente a partir de sementes remanescentes no solo, comportando-se como plantas daninhas na cultura em sucessão (Adegas et al., 2014). No sistema soja-trigo, amplamente adotado na Região Sul do Brasil, a soja voluntária (*Glycine max* L.) tornou-se um problema crescente e de difícil controle.

A principal origem dessas plantas são as perdas de grãos na colheita mecanizada, que variam entre 60 e 180 kg ha⁻¹ e correspondem a uma densidade potencial de 300 a 1.200

sementes viáveis por metro quadrado no solo (Adegas et al., 2014). Essas sementes germinam durante a entressafra e estabelecem-se como plantas daninhas na cultura de inverno. Quando provenientes de cultivares tolerantes a herbicidas, as plantas voluntárias herdaram essa tolerância, o que dificulta o controle químico na cultura seguinte (Beckie et al., 2012; Jhala et al., 2021).

A presença de soja voluntária no trigo gera dois problemas principais. O primeiro é a competição direta por recursos: a espécie apresenta crescimento vigoroso, sistema radicular pivotante profundo e elevada taxa de crescimento inicial sob temperaturas amenas, típicas do início do desenvolvimento do trigo, competindo intensamente por água, luz e nutrientes (Marquardt et al., 2012; Lamego et al., 2013). Essa competição é especialmente crítica quando coincide com o período crítico de prevenção da interferência do trigo, situado entre 12 e 24 dias após a emergência, podendo comprometer o número de perfilhos férteis e de espiguetas por espiga (Agostinetto et al., 2008). Embora estudos quantificando diretamente as perdas em trigo sejam escassos, registros em milho indicam reduções de 14% a 56% conforme a densidade de infestação, com perda de 10% no rendimento já a partir de 3 a 4 plantas m^{-2} (Adegas et al., 2014; Alms et al., 2016).

O segundo problema é de natureza fitossanitária: a soja voluntária atua como “ponte verde”, hospedando o fungo *Phakopsora pachyrhizi*, agente da ferrugem-asiática, e compromete a eficácia do vazio sanitário estabelecido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária ao manter populações do patógeno viáveis na entressafra (MAPA, 2022; Godoy et al., 2016).

4.4 DESAFIOS NO CONTROLE QUÍMICO DA SOJA VOLUNTÁRIA TOLERANTE À SULFONILUREIA

A tecnologia STS foi desenvolvida por mutagênese química induzida com o agente etilmetanosulfonato (EMS), que gerou mutações pontuais nos alelos Als1 e Als2 do gene que codifica a enzima ALS, sem comprometer as características agronômicas da soja (Sebastian et al., 1989; Aragão et al., 2000). Essas mutações conferem alta tolerância a herbicidas sulfonilureias, ao passo que a tolerância a outras famílias de inibidores da ALS é variável (Tranel; Wright, 2002).

O controle da soja STS voluntária em trigo é particularmente desafiador, uma vez que essas plantas toleram os herbicidas sulfonilureias como metsulfuron-methyl e chlorimuron-

ethyl tradicionalmente empregados no controle de dicotiledôneas em cereais (Gazola et al., 2021). Quando há também sobreposição com a tolerância ao glifosato (soja RR), as opções de manejo químico tornam-se ainda mais restritas (Beckie et al., 2012). Diante dessas limitações, o controle efetivo exige herbicidas com mecanismos de ação alternativos, com destaque para os mimetizadores de auxinas, cuja eficácia, todavia, depende da molécula, da dose e do estágio de desenvolvimento das plantas no momento da aplicação (Colombo et al., 2022; Gazola et al., 2021).

4.5 HERBICIDAS AUXÍNICOS: MECANISMOS DE AÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Os herbicidas mimetizadores de auxinas (Grupo HRAC O) representam a principal ferramenta química para o controle da soja STS voluntária em trigo, pois a tolerância conferida pela tecnologia STS não se estende a esse mecanismo de ação (Gazola et al., 2021). São compostos sintéticos que imitam a ação do ácido indol-3-acético (IAA), ligando-se aos receptores auxínicos do tipo TIR1/AFB e desencadeando uma cascata hormonal que culmina em crescimento descontrolado, epinastia, clorose, senescência e morte de plantas dicotiledôneas sensíveis, com a morte ocorrendo, em geral, de 3 a 5 semanas após a aplicação (Grossmann, 2010). A seletividade entre monocotiledôneas e dicotiledôneas decorre, sobretudo, da maior capacidade de metabolização e detoxificação dos cereais, como o trigo (item 4.6).

Estudos de campo confirmam a eficácia desses herbicidas no controle de soja voluntária. Gazola et al. (2021) observaram controle de 100% com a aplicação isolada de dicamba aos 28 dias após o tratamento, bem como controle satisfatório de soja STS com a associação de metribuzin e metsulfuron-methyl. Por outro lado, o triclopyr apresentou eficácia inferior a 60%, mesmo em doses elevadas, evidenciando a importância da escolha da molécula e do ajuste de dose (Gazola et al., 2021; Colombo et al., 2022).

Os herbicidas auxínicos reúnem famílias químicas distintas, que compartilham o mesmo mecanismo de ação, mas diferem em propriedades físico-químicas, mobilidade na planta e comportamento ambiental: os ácidos fenoxicarboxílicos (2,4-D, MCPA), os ácidos benzóicos (dicamba), os ácidos piridino-carboxílicos (picloram, triclopyr) e os arylpicolinatos (florpyrauxifen-benzyl, halauxifen-methyl) (Krämer et al., 2012; Grossmann, 2010). A formulação química (ácido, sal ou éster) influencia diretamente a volatilidade e a absorção,

sendo um fator crítico para o manejo seguro, especialmente quanto ao risco de deriva (Bish et al., 2019). As principais moléculas avaliadas neste estudo são detalhadas a seguir.

4.5.1 Dicamba (ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzóico)

O dicamba pertence à família dos ácidos benzóicos e é amplamente utilizado no controle de dicotiledôneas em cereais e pastagens, com doses típicas entre 140 e 560 g de equivalente ácido ha^{-1} (Egan; Mortensen, 2012). Sua seletividade ao trigo deve-se à detoxificação metabólica, embora mais lenta que a do 2,4-D, o que resulta em uma janela de seletividade mais estreita (Grossmann, 2010). Sua principal limitação é a tendência à volatilização, sobretudo sob altas temperaturas e baixa umidade, com risco de deriva de vapor e danos a culturas sensíveis adjacentes; formulações de sais de diglicolamina (DGA) reduzem, mas não eliminam, esse risco (Bish et al., 2019). Apresenta meia-vida no solo de 14 a 28 dias, podendo causar carryover em condições de baixa atividade microbiana (Egan; Mortensen, 2012).

4.5.2 Florpyrauxifen-benzyl (Arylex™)

O florpyrauxifen-benzyl pertence à classe dos arylpicolinatos, recentemente desenvolvida para oferecer alta seletividade em cereais e eficácia contra dicotiledôneas, incluindo espécies resistentes a auxínicos tradicionais (Epp et al., 2016). Atua com forte afinidade pelo receptor AFB5 e é eficaz em doses muito baixas (5 a 30 g i.a. ha^{-1}), o que lhe confere perfil ambiental favorável e baixo risco de fitotoxicidade. Sua seletividade ao trigo decorre da rápida metabolização por citocromos P450 e glutatona S-transferases, associada a genes de tolerância nos cromossomos 5A e 5B (Busi et al., 2018; Epp et al., 2016). Apresenta baixa volatilidade e baixa mobilidade no solo, embora exija atenção aos intervalos de segurança para culturas dicotiledôneas sucessoras sensíveis.

4.5.3 Picloram (ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico)

O picloram pertence aos ácidos piridino-carboxílicos e é reconhecido por sua alta mobilidade sistêmica e eficácia contra dicotiledôneas perenes (Krämer et al., 2012). É geralmente mais fitotóxico aos cereais que o 2,4-D, exigindo doses menores e cuidados adicionais. Sua elevada solubilidade, baixa adsorção ao solo e meia-vida de 20 a 300 dias conferem alto risco de lixiviação e de efeito residual em culturas sucessoras sensíveis, especialmente a soja (USEPA, 1995). Por esse motivo, seu uso em sistemas de rotação trigo-soja deve ser feito com extrema cautela, em razão do risco de carryover para a cultura subsequente.

4.5.4 Triclopyr (ácido 3,5,6-tricloro-2-piridinil oxi acético)

O triclopyr também pertence aos ácidos piridino-carboxílicos e é utilizado no controle de dicotiledôneas herbáceas e lenhosas (Sterling; Hall, 1997). É rapidamente absorvido por folhas e raízes — com absorção foliar praticamente completa em cerca de 12 horas — e translocado pelo floema, acumulando-se em meristemas. Em gramíneas como o trigo, é rapidamente metabolizado a conjugados não fitotóxicos, o que lhe confere seletividade, porém com eficácia limitada sobre algumas espécies-alvo. Apresenta meia-vida no solo de 30 a 90 dias, e a formulação éster (BEE) é mais volátil e de maior absorção foliar que a formulação sal (Sterling; Hall, 1997; USEPA, 1998).

4.6 TOLERÂNCIA DO TRIGO AOS HERBICIDAS AUXÍNICOS

A tolerância natural do trigo aos herbicidas auxínicos é o principal fundamento de seu uso seletivo em cereais e decorre da detoxificação rápida e eficiente dessas moléculas antes que causem dano aos tecidos (Grossmann, 2010). Esse processo ocorre em três fases: transformação (oxidação/hidrólise mediada por citocromos P450), conjugação (com glutatona ou açúcares,

via glutathione S-transferases e glicosiltransferases) e compartimentalização dos conjugados não fitotóxicos no vacúolo ou na parede celular (Busi et al., 2018). Genes associados a essa capacidade detoxificadora foram identificados nos cromossomos 5A e 5B do trigo (Busi et al., 2018).

Essa tolerância, contudo, não é absoluta e é modulada por diversos fatores. Aplicações em estádios iniciais (Zadoks 11–29) são mais seguras, ao passo que aplicações em estádios mais tardios (Zadoks 30–39) aumentam o risco de fitotoxicidade. Doses acima das recomendadas podem saturar as enzimas detoxificadoras, e condições de estresse — baixas temperaturas ($< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), eventos de geada, déficit hídrico ou ataque de pragas e doenças — reduzem a capacidade de metabolização, amplificando a fitotoxicidade mesmo em doses recomendadas (Zollinger et al., 2006; Robinson et al., 2013; Grossmann, 2010). Por isso, recomenda-se aplicar os herbicidas auxínicos em estádios iniciais do trigo, respeitar as doses de bula e evitar aplicações sob temperaturas baixas ou na iminência de geadas.

4.7 EFEITO DA DOSE, DO ESTÁDIO DE APLICAÇÃO E DO AMBIENTE

A eficiência e a seletividade dos herbicidas auxínicos são fortemente influenciadas pela dose, pelo estágio fenológico da cultura e das plantas daninhas e pelas condições ambientais no momento da aplicação (Grossmann, 2010). A eficácia segue curvas dose-resposta clássicas, nas quais o controle aumenta com a dose até atingir um platô; as dicotiledôneas geralmente são bem controladas em doses relativamente baixas, enquanto plantas em estádios avançados (8–10 folhas) exigem doses maiores em razão da maior capacidade de detoxificação e recuperação (Grossmann, 2010).

O estágio fenológico do trigo é determinante para a seletividade. Zollinger et al. (2006) verificaram que aplicações de 2,4-D e dicamba no estágio Zadoks 30 resultaram em injúrias severas e redução de produtividade sobretudo quando coincidiram com eventos de geada, ao passo que aplicações no estágio Zadoks 21–25 não causaram danos significativos, mesmo sob condições adversas. De modo geral, plantas daninhas em estádios iniciais (2–4 folhas) são mais suscetíveis que aquelas em estádios avançados (Grossmann, 2010).

A fitotoxicidade resulta, portanto, da interação entre dose, estágio fenológico e ambiente. A temperatura é um dos fatores mais críticos: temperaturas baixas e eventos de geada

reduzem a atividade das enzimas detoxificadoras e podem provocar clorose, redução de perfilhamento e perdas de produtividade de até 20% (Robinson et al., 2013; Zollinger et al., 2006). O déficit hídrico atua de forma semelhante, recomendando-se adiar a aplicação até o restabelecimento de condições adequadas (Grossmann, 2010). Essa interação é central para a interpretação dos resultados do presente estudo, conduzido em duas safras com condições climáticas contrastantes.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

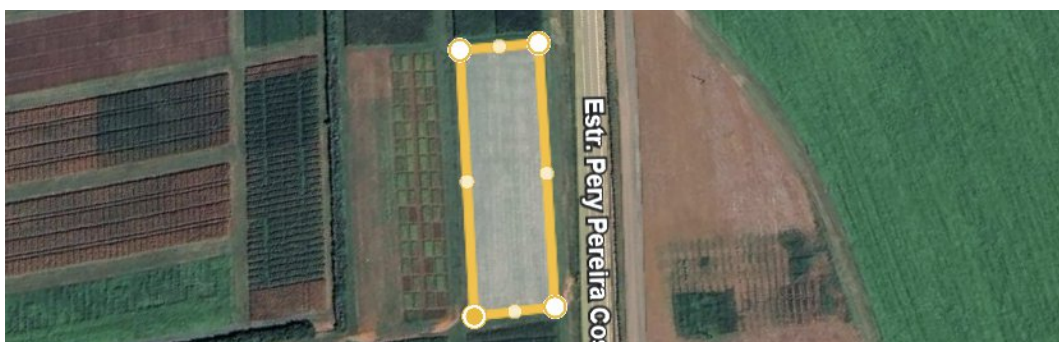
Os experimentos foram conduzidos em duas safras consecutivas. Na safra 2024, o estudo foi realizado na estação experimental da empresa 3M Experimentação Agrícola, localizada a $25^{\circ}09'45,65''$ S de latitude, $50^{\circ}11'23,75''$ O de longitude e altitude de 807 m, no município de Ponta Grossa, Paraná (Figura 1). Na safra 2025, o experimento foi conduzido na Fazenda Escola "Capão da Onça", pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), região dos Campos Gerais, localizada a $25^{\circ}05'49''$ S, $50^{\circ}03'43,11''$ O e altitude de 975 m (Figura 2).

Figura 1 – Local do primeiro ensaio realizado na estação da 3M Experimentação Agrícola, durante a safra 2024.



Fonte: Google Earth.

Figura 2 – Local de condução do ensaio na Fazenda Escola da UEPG, durante a safra 2025.



Fonte: Google Earth.

5.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Durante a condução dos experimentos, foram registradas as condições meteorológicas na Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizada próxima às áreas experimentais. Na safra 2024, a temperatura média foi de 14,5 °C, com precipitação acumulada de 680 mm durante o ciclo da cultura. Foram registrados três eventos de geada entre 20 e 25 de junho de 2024, com temperaturas mínimas atingindo -2 °C, período que coincidiu com a primeira época de aplicação dos herbicidas.

Na safra 2025, a temperatura média foi de 15,2 °C, com precipitação acumulada de 720 mm. Não foram registrados eventos de geada durante o período crítico de aplicação dos herbicidas, o que contribuiu para maior uniformidade das respostas observadas nesta safra. As condições de temperatura e umidade relativa do ar no momento das aplicações foram: safra 2024 (28/06/2024): temperatura de 18 °C, umidade relativa de 55%, velocidade do vento de 4 km h⁻¹; safra 2025 (06/08/2025): temperatura de 16 °C, umidade relativa de 50%, velocidade do vento de 3,5 km h⁻¹.

5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subsubdivididas, com quatro repetições, sendo avaliados três fatores: nas parcelas, dois estádios fenológicos do trigo; nas subparcelas, quatro herbicidas auxínicos; e nas subsubparcelas, quatro doses de cada herbicida.

O Fator A (parcelas) correspondeu ao estágio fenológico do trigo no momento da aplicação, determinado pela escala de Zadoks et al. (1974), com dois níveis: Estádio 1 (E1) – Zadoks 31–32 (início do alongamento do colmo), referente à primeira época de semeadura (42 DAS na safra 2024 e 55 DAS na safra 2025); e Estádio 2 (E2) – Zadoks 21–25 (perfilhamento ativo), referente à segunda época de semeadura (28 DAS na safra 2024 e 33 DAS na safra 2025). Os dois estádios foram obtidos por meio de datas de semeadura distintas, com intervalo de 14 dias entre as épocas, de modo que ambas receberam a aplicação dos herbicidas no mesmo dia, porém em estádios fenológicos diferentes. Essa estratégia permitiu isolar o efeito do estágio fenológico sobre a eficiência de controle da soja voluntária e a seletividade ao trigo.

QUADRO 1 – Escala Decimal de Zadoks et al. (1974) para estádios fenológicos de cereais.

Estádio	Descrição
Germinação	Embebição da semente, emissão de radícula e emergência do coleóptilo
Desenvolvimento foliar	Emergência e desenrolamento das folhas do colmo principal
Perfilhamento	Formação e desenvolvimento dos perfilhos (21-29: número de perfilhos visíveis)
Alongamento do colmo	Elongação dos entrenós e aparecimento dos nós (31-39: número de nós visíveis)
Emborrachamento	Desenvolvimento da bainha da folha bandeira e início da visibilidade da espiga
Emergência da espiga	Espigamento progressivo (51: início; 59: espiga completamente emergida)
Florescimento (Antese)	Emissão de anteras e polinização (61: início; 69: antese completa)
Grão leitoso	Formação inicial do grão com conteúdo líquido (71-77: estádios progressivos)
Grão pastoso	Endurecimento progressivo do grão (83-87: consistência pastosa crescente)
Maturação	Grão maduro e duro (91-99: maturação completa e senescência)

Fonte: Adaptado de Zadoks, Chang e Konzak (1974).

O Fator B (subparcelas) correspondeu aos quatro herbicidas auxínicos, de diferentes grupos químicos: dicamba (ácido benzóico), triclopyr e picloram (ácidos piridino-carboxílicos) e florpyrauxifen-benzyl (arylpicolinato).

O Fator C (subsubparcelas) correspondeu a quatro doses crescentes de cada herbicida, definidas para contemplar níveis abaixo, equivalente e acima da recomendação de bula, além de uma testemunha sem aplicação de herbicida (Tabela 1). Cada unidade experimental (subsubparcela) teve dimensões de 2,0 × 5,0 m (10 m²), totalizando área experimental de 1.360 m². A área útil, utilizada nas avaliações de massa seca e produtividade, foi de 1,0 × 3,0 m (3 m²), descartando-se 0,5 m de bordadura em cada extremidade e 1,0 m nas laterais.

TABELA 1 – Descrição dos tratamentos herbicidas, grupos químicos e respectivas doses utilizadas para avaliar o controle de soja voluntária (*Glycine max* L.) em trigo (*Triticum aestivum* L.).

Tratamento	Grupo Químico	Produto Comercial	Concentração (g e.a. L⁻¹)	Dose P.C. (L ha⁻¹)	Dose e.a. (g ha⁻¹)
Testemunha	-	-	-	0	0
Dicamba D1	Ácido benzóico	Dicamax	480	0,5	240
Dicamba D2	Ácido benzóico	Dicamax	480	1	480
Dicamba D3	Ácido benzóico	Dicamax	480	1,3	624
Dicamba D4	Ácido benzóico	Dicamax	480	2	960
Triclopyr D1	Ác. piridino-carboxílico	Triclopir CCAB	480	0,75	360
Triclopyr D2	Ác. piridino-carboxílico	Triclopir CCAB	480	1,5	720
Triclopyr D3	Ác. piridino-carboxílico	Triclopir CCAB	480	1,75	840
Triclopyr D4	Ác. piridino-carboxílico	Triclopir CCAB	480	2,5	1.200
Picloram D1	Ác. piridino-carboxílico	Padron	240	0,5	120

Picloram D2	Ác. piridino-carboxílico	Padron	240	1	240
Picloram D3	Ác. piridino-carboxílico	Padron	240	1,25	300
Picloram D4	Ác. piridino-carboxílico	Padron	240	2	480
Florpyrauxifen D1	Arylpicolinato	Loyant	19,91	0,4	7,96
Florpyrauxifen D2	Arylpicolinato	Loyant	19,91	1	19,91
Florpyrauxifen D3	Arylpicolinato	Loyant	19,91	1,3	25,88
Florpyrauxifen D4	Arylpicolinato	Loyant	19,91	2	39,82

P.C. = Produto Comercial; e.a. = equivalente ácido; D1, D2, D3, D4 = doses crescentes 1, 2, 3 e 4.

5.4 SEMEADURA E INFESTAÇÃO COM SOJA VOLUNTÁRIA

Na safra 2024, em 17/05/2024, cada parcela foi infestada manualmente com 50 g de sementes de soja cultivar BRS Max Garra IPRO, de crescimento indeterminado e tolerante a herbicidas sulfonilureias (tecnologia STS), distribuídas a lanço, com o objetivo de simular a ocorrência de soja voluntária na cultura do trigo. A quantidade de 50 g de sementes por parcela (10 m²) correspondeu a uma densidade aproximada de 300 sementes m⁻², equivalente a uma perda média de colheita de 100 kg ha⁻¹. Imediatamente após a infestação, foi realizada a semeadura do trigo cultivar TBIO Ponteiro, de ciclo tardio e perfilhamento médio, utilizando semeadora de parcelas com espaçamento de 0,17 m entre linhas, densidade de semeadura de 350 sementes viáveis m⁻² e profundidade de 3 cm. A adubação de base foi aplicada no sulco de semeadura.

A segunda época de semeadura foi instalada em 31/05/2024, 14 dias após a primeira época, seguindo o mesmo protocolo de infestação com soja voluntária e semeadura do trigo, de modo a obter plantas em estádios fenológicos distintos no momento da aplicação dos herbicidas.

Na safra 2025, a mesma metodologia foi adotada, com a primeira época de semeadura realizada em 12/06/2025 e a segunda época em 04/07/2025. O intervalo entre as épocas foi de 22 dias (superior aos 14 dias planejados) devido a condições climáticas adversas (chuvas intensas) que impediram a entrada de maquinário na área.

5.5 APLICAÇÃO DOS HERBICIDAS

As aplicações dos herbicidas foram realizadas quando as plantas de trigo atingiram dois estádios fenológicos distintos, conforme determinado pela escala de Zadoks et al. (1974). Na safra 2024, a aplicação foi realizada em 28/06/2024, quando as plantas da primeira época (semeadas em 17/05/2024) atingiram 42 DAS, correspondendo ao estágio fenológico Zadoks 31-32 (início do alongamento do colmo) – Estádio 1 (E1) – e as plantas da segunda época (semeadas em 31/05/2024) atingiram 28 DAS, correspondendo ao estágio fenológico Zadoks 21-25 (perfilhamento ativo) – Estádio 2 (E2).

Na safra 2025, a aplicação foi realizada em 06/08/2025, quando as plantas da primeira época (semeadas em 12/06/2025) atingiram 55 DAS, correspondendo ao estágio fenológico Zadoks 31-32 (início do alongamento do colmo) – Estádio 1 (E1) – e as plantas da segunda época (semeadas em 04/07/2025) atingiram 33 DAS, correspondendo ao estágio fenológico Zadoks 21-25 (perfilhamento ativo) – Estádio 2 (E2).

Ambas as épocas receberam aplicação no mesmo dia, porém em estádios fenológicos distintos devido à diferença nas datas de semeadura. Esta estratégia permitiu isolar o efeito do estágio fenológico do trigo sobre a eficiência de controle da soja voluntária e a seletividade dos herbicidas, mantendo constantes as condições ambientais no momento da aplicação (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar).

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado com barra de 2 metros contendo quatro pontas de pulverização de indução de ar (modelo IA 110015), espaçadas a 0,50 m entre si. A pressão de trabalho foi mantida constante em 3 bar (300 kPa), calibrada para proporcionar um volume de calda de 100 L ha⁻¹. Não foram utilizados adjuvantes ou surfactantes nas aplicações, conforme recomendação dos fabricantes para os produtos testados.

5.6 MANEJO FITOSSANITÁRIO E CONTROLE DE OUTRAS PLANTAS DANINHAS

Durante a condução dos experimentos, a área foi monitorada constantemente para o controle de pragas e doenças, visando manter a sanidade da cultura do trigo e assegurar que a produtividade não fosse afetada por fatores não relacionados aos objetivos do estudo.

Para o controle de doenças fúngicas, incluindo ferrugem-da-folha (*Puccinia triticina*), mancha-amarela (*Drechslera tritici-repentis*) e giberela (*Fusarium graminearum*), foram realizadas aplicações dos fungicidas picoxistrobina (60 g i.a. ha⁻¹) + protioconazol (70 g i.a. ha⁻¹) sempre que o grau de infestação justificava a intervenção, conforme monitoramento semanal. O controle de pragas foi focado no pulgão-verde (*Schizaphis graminum*), utilizando o inseticida sulfoxaflor (24 g i.a. ha⁻¹) conforme a necessidade, avaliada pelo nível de infestação na cultura.

Para garantir que plantas daninhas gramíneas, como azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia-preta (*Avena strigosa*), não interferissem nos resultados do controle da soja voluntária, foi realizada uma aplicação de pinoxadem (50 g i.a. ha⁻¹) em toda a área do ensaio aos 20 DAS, antes da aplicação dos tratamentos herbicidas. Essa medida foi essencial para isolar os efeitos dos tratamentos com herbicidas auxínicos e obter resultados mais precisos sobre a eficácia e seletividade para a soja voluntária em trigo.

5.7 AVALIAÇÕES

A eficiência dos tratamentos foi analisada por meio de três metodologias complementares: avaliações visuais de controle e fitotoxicidade, quantificação de biomassa (massa seca) e avaliação de produtividade de grãos. Foram avaliados tanto o controle da soja voluntária (*Glycine max* L.) quanto a seletividade (fitotoxicidade) para a cultura do trigo (*Triticum* spp.).

5.7.1 Avaliação visual de controle da soja voluntária

As avaliações visuais de controle da soja voluntária foram realizadas aos 7, 14, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas. Foram atribuídas notas percentuais variando de 0% (ausência de sintomas de controle) a 100% (morte total das plantas), considerando sintomas visíveis de estresse, como clorose foliar, epinastia, redução do porte, necrose dos tecidos e morte de plantas.

A classificação da eficácia de controle foi realizada conforme a escala proposta pela Sociedade Canadense de Ciência de Ervas Daninhas (CWSS-SCM), descrita na Tabela 2.

TABELA 2 – Escala de classificação CWSS para eficácia do herbicida no controle de plantas daninhas.

FAIXA DE ATIVIDADE	DESCRIÇÃO DO CONTROLE SUGERIDO
91-100%	Muito bom a Excelente
80 – 90%	Bom a Muito bom
60 – 79%	Supressão
< 60%	Pobre

Fonte: Sociedade Canadense de Ciência de Ervas Daninhas (CWSS-SCM, 2018).

5.7.2 Avaliação de fitotoxicidade no trigo

As avaliações de fitotoxicidade no trigo foram realizadas aos 14, 21, 28 e 35 DAA. Foram atribuídas notas percentuais variando de 0% (ausência de sintomas de fitotoxicidade) a 100% (morte total das plantas), considerando sintomas como clorose foliar, necrose, nanismo, redução de altura e mortalidade de plantas.

A classificação dos níveis de dano à cultura foi realizada conforme a escala proposta pela CWSS-SCM, descrita na Tabela 3.

TABELA 3 – Escala de classificação CWSS para tolerância da cultura a herbicidas.

FAIXA DE FITOTOXICIDADE	AValiação DO PREJUÍZO
0 – 9%	Ligeira descoloração e/ou atrofia
10 %	Apenas Aceitável
11 – 29%	Não Aceitável
> 30%	Grave

Fonte: Sociedade Canadense de Ciência de Ervas Daninhas (CWSS-SCM, 2018).

O dano inicial de até 10% é geralmente superado pela cultura e tende a desaparecer com o tempo, sendo que o impacto desses baixos níveis de prejuízo não se reflete em perdas de rendimento. Danos superiores a 10% são considerados não aceitáveis, pois podem comprometer a produtividade final da cultura (CWSS-SCM, 2018).

5.7.3 Avaliação de massa seca

A seletividade dos herbicidas para a cultura do trigo foi quantificada através da avaliação da massa seca da parte aérea das plantas. Para cada subparcela, foi coletada uma amostra de $0,50 \times 0,50 \text{ m}^2$ na área útil da parcela, cortando-se as plantas rente ao solo.

As amostras foram devidamente identificadas e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C por 72 horas, até atingirem peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão (0,01 g) para determinação da massa seca.

O cálculo da redução percentual de massa seca do trigo em relação à testemunha foi realizado conforme a equação:

$$\text{Redução (\%)} = \left(\frac{MS_{\text{Testemunha}} - MS_{\text{Tratamento}}}{MS_{\text{Testemunha}}} \right) \times 100$$

Onde a Testemunha corresponde à massa seca do trigo na parcela que não recebeu aplicação de herbicida (referência de crescimento ideal) e o Tratamento à massa seca do trigo na parcela que recebeu a aplicação do herbicida.

Este cálculo permitiu quantificar a redução percentual da massa seca do trigo causada por cada tratamento, fornecendo uma medida objetiva da seletividade do herbicida. Quanto menor o valor percentual de redução, mais seletivo o herbicida foi para a cultura do trigo. A classificação da seletividade foi realizada conforme a mesma escala utilizada para fitotoxicidade visual (Tabela 3), considerando reduções de massa seca de 0-9% como aceitáveis, 10% como limite de aceitabilidade, 11-29% como não aceitáveis e superiores a 30% como graves.

5.7.4 Avaliação de produtividade

A produtividade de grãos foi avaliada por ocasião da maturação de colheita, quando os grãos atingiram umidade entre 18 e 20%. A colheita foi realizada mecanicamente com colheitadeira de parcelas na área útil das subparcelas.

Os grãos colhidos foram submetidos à determinação de umidade em medidor digital, e os dados de produtividade foram corrigidos para umidade padrão de 13% (base úmida). Os dados de produtividade foram expressos em quilogramas por hectare (kg ha^{-1}) e convertidos para sacas por hectare (sc ha^{-1}), considerando a saca de 60 kg.

$$\text{Produtividade (sc ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Produtividade (kg ha}^{-1}\text{)}}{60}$$

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando o software IBM SPSS Statistics versão 27 e BioEstat versão 5.3. Previamente às análises, a normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Quando necessário, os dados foram transformados utilizando transformação angular ($\arcsen \sqrt{x/100}$) para dados percentuais.

Para avaliar os efeitos dos fatores Herbicida (4 níveis), Dose (4 níveis) e Estádio fenológico (2 níveis) sobre as variáveis resposta, foram aplicadas as seguintes análises: a eficiência de controle da soja voluntária (controle visual, %) foi submetida à análise de variância (ANOVA) em esquema de parcelas subdivididas, considerando o estágio fenológico como fator de parcela e o herbicida $\times$ dose como fatores de subparcela; quando o teste F foi significativo ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Sidak a 5% de probabilidade.

Para avaliar o efeito do tempo (7, 14, 28 e 35 DAA) sobre a eficiência de controle, mantendo a paridade entre herbicida, dose e estágio fenológico, foi aplicado o teste não paramétrico de Friedman, seguido de comparação múltipla de médias quando significativo.

Os dados de fitotoxicidade visual (%) e redução de massa seca (%) foram submetidos à ANOVA em esquema de parcelas subdivididas, com comparação de médias pelo teste de Sidak a 5% de probabilidade quando o teste F foi significativo. Os dados de produtividade (kg ha^{-1}) foram submetidos à ANOVA em esquema de parcelas subdivididas, com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade quando o teste F foi significativo. O erro alfa foi previamente fixado em 5% ($p < 0,05$) para rejeição da hipótese nula em todas as análises realizadas.

Complementarmente à análise de variância, os dados de eficiência de controle da soja voluntária e de fitotoxicidade ao trigo foram submetidos à análise de regressão em função das doses de cada herbicida, ajustando-se modelos de dose-resposta (log-logístico e/ou polinomial) para cada herbicida e estágio fenológico. A seleção do modelo baseou-se no coeficiente de determinação (R^2) e na significância dos parâmetros, permitindo descrever o comportamento da resposta biológica ao incremento de dose.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 EFICIÊNCIA DE CONTROLE DA SOJA STS VOLUNTÁRIA

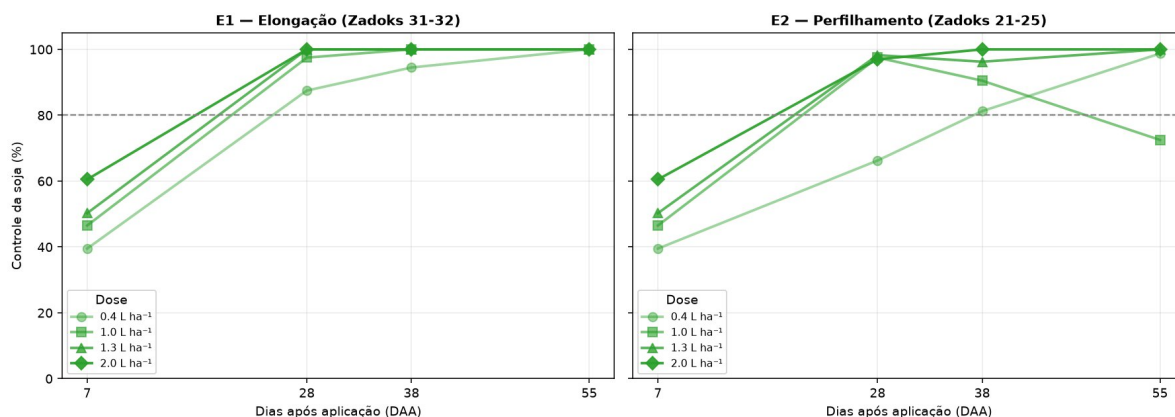
A eficiência de controle da soja voluntária tolerante à sulfonilureia (STS) foi influenciada pela interação entre o herbicida, a dose e o estágio fenológico do trigo. Em razão das condições climáticas contrastantes — com ocorrência de geadas na safra 2024 —, os experimentos das safras 2024 e 2025 foram analisados separadamente. As avaliações de controle foram realizadas em diferentes dias após a aplicação (DAA), nos estádios E1 (elongação, Zadoks 31-32) e E2 (perfilhamento, Zadoks 21-25), classificando-se a eficácia conforme a escala da Sociedade Canadense de Ciência de Ervas Daninhas (CWSS-SCM, 2018).

De modo geral, os quatro herbicidas estabeleceram o ranking de eficiência florpyrauxifen-benzyl > picloram > triclopyr > dicamba, com médias de controle de 80,2-83,5%, 74,6-75,6%, 58,1-60,8% e 45,0-56,8%, respectivamente. O estágio E1 proporcionou controle ligeiramente superior (2 a 5 pontos percentuais) ao E2. A seguir, detalha-se o desempenho de cada herbicida.

6.1.1 Florpyrauxifen-benzyl

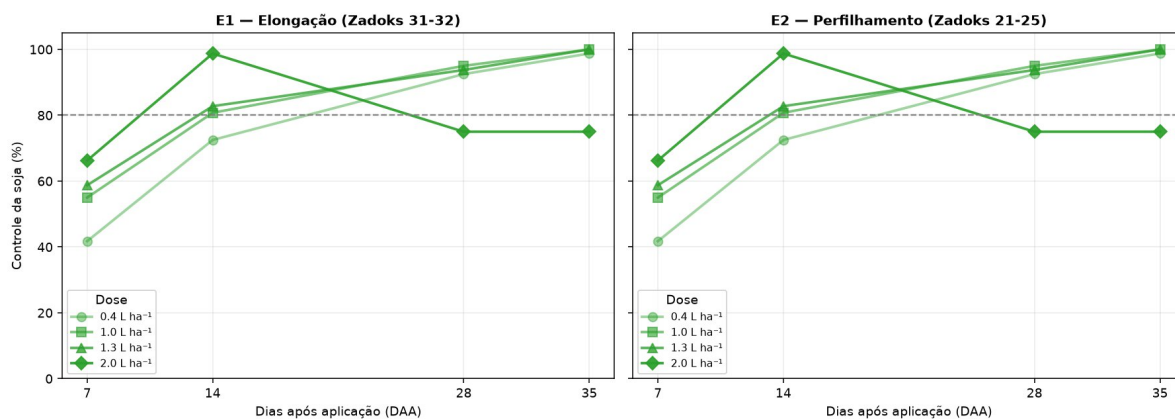
O florypyrauxifen-benzyl foi o herbicida mais eficiente e consistente, com controle $\geq$ 95% aos 28-35 DAA em todas as doses, inclusive na menor ($0,4 \text{ L ha}^{-1}$), em ambos os estádios e safras. A ação foi rápida e não houve diferença relevante entre E1 e E2, evidenciando ampla janela de aplicação (Gráficos 1 e 2). Esse desempenho é atribuído à elevada afinidade da molécula pelo receptor auxínico AFB5 e à alta atividade em doses baixas (Epp et al., 2016).

Gráfico 1 – Controle (%) da soja voluntária STS pelo florpyrauxifen-benzyl em função da dose e dos DAA, nos estádios E1 e E2. Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 2 – Controle (%) da soja voluntária STS pelo florpyrauxifen-benzyl em função da dose e dos DAA, nos estádios E1 e E2. Safra 2025, Ponta Grossa-PR.

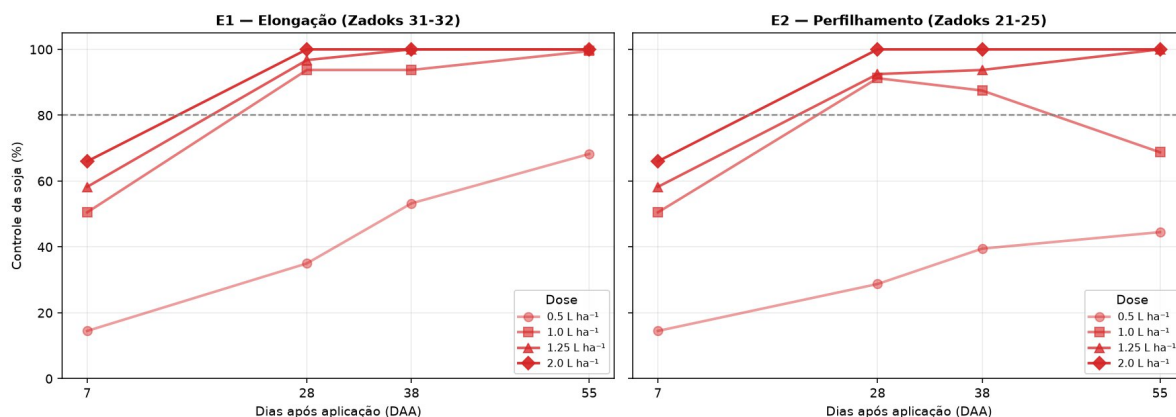


Fonte: O autor (2025).

6.1.2 Picloram

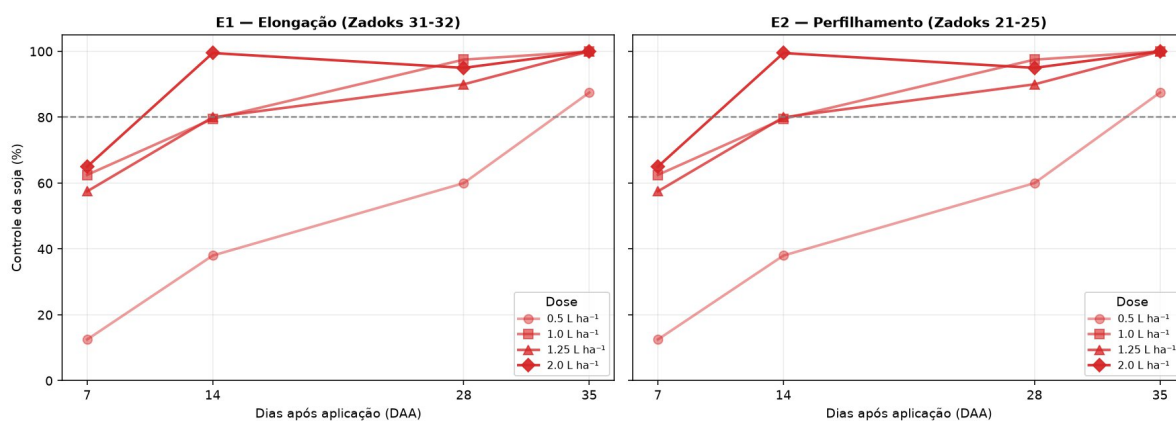
O picloram foi o segundo mais eficiente (74,6-75,6%), com controle dose-dependente: a partir de 1,0 L ha⁻¹ superou 90% de controle, atingindo 100% nas doses superiores. A menor dose (0,5 L ha⁻¹) foi insuficiente, sobretudo em E2 (Gráficos 3 e 4). Apesar da eficácia, o picloram apresentou a maior fitotoxicidade ao trigo (item 6.3) e provocou perdas de produtividade (item 6.5), o que inviabiliza sua recomendação.

Gráfico 3 – Controle (%) da soja voluntária STS pelo picloram em função da dose e dos DAA, nos estádios E1 e E2. Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 4 – Controle (%) da soja voluntária STS pelo picloram em função da dose e dos DAA, nos estádios E1 e E2. Safra 2025, Ponta Grossa-PR.

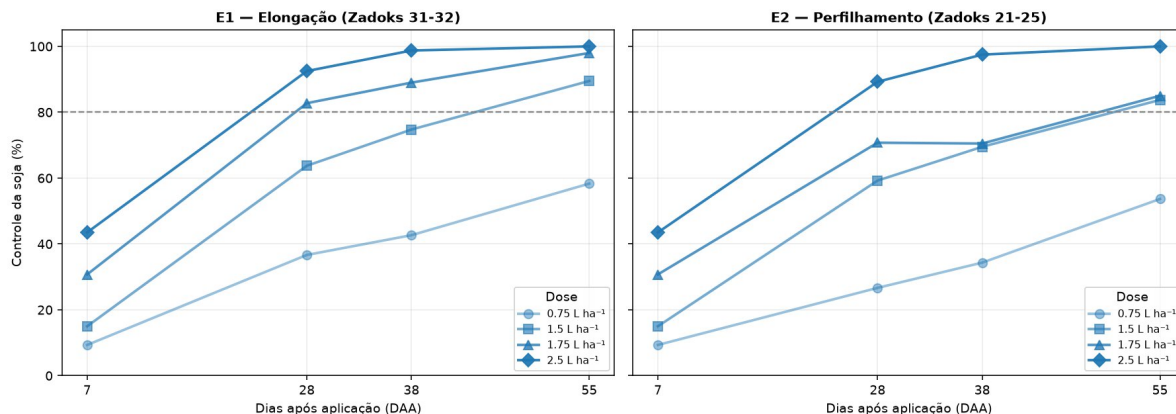


Fonte: O autor (2025).

6.1.3 Triclopyr

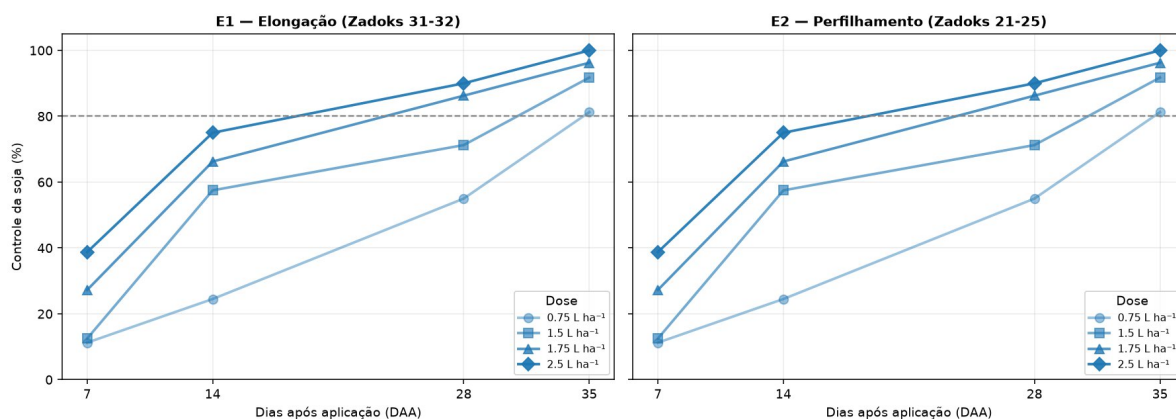
O triclopyr apresentou eficiência intermediária (58,1-60,8%) e ação mais lenta, exigindo doses elevadas para controle eficaz ($\geq 80\%$). A dose de $0,75 \text{ L ha}^{-1}$ foi insuficiente; a partir de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ o controle tornou-se satisfatório, atingindo 100% na maior dose ($2,5 \text{ L ha}^{-1}$). O controle em E1 foi ligeiramente superior ao E2 (Gráficos 5 e 6), em concordância com Gazola et al. (2021).

Gráfico 5 – Controle (%) da soja voluntária STS pelo triclopyr em função da dose e dos DAA, nos estádios E1 e E2. Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 6 – Controle (%) da soja voluntária STS pelo triclopyr em função da dose e dos DAA, nos estádios E1 e E2. Safra 2025, Ponta Grossa-PR.

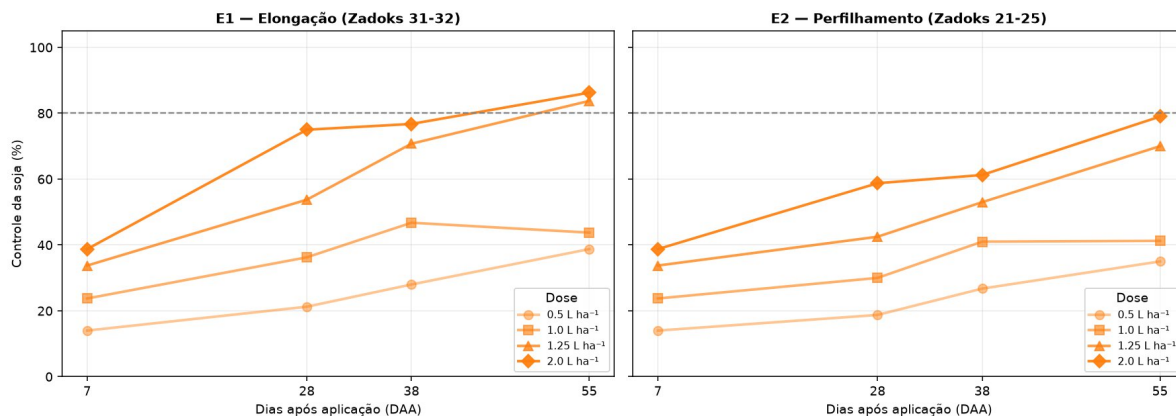


Fonte: O autor (2025).

6.1.4 Dicamba

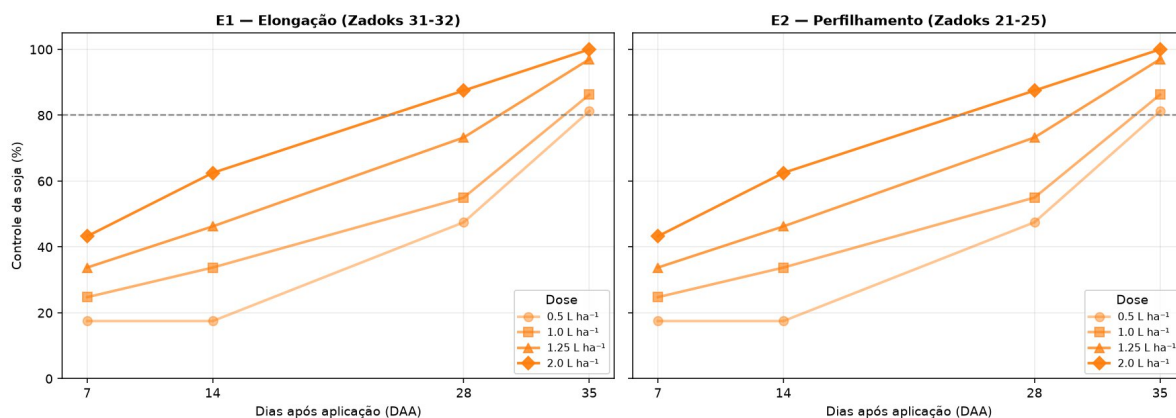
O dicamba apresentou o desempenho mais variável e dependente do clima (45,0-56,8%). Na safra 2024, o controle foi baixo a moderado, atribuído à geada que comprometeu o desenvolvimento das plantas e a expressão dos sintomas, reduzindo a absorção e translocação do herbicida (Zollinger et al., 2006). Na safra 2025, sem geadas, o dicamba recuperou desempenho expressivo (81 a 100%), confirmando que o fator limitante em 2024 foi climático (Gráficos 7 e 8).

Gráfico 7 – Controle (%) da soja voluntária STS pelo dicamba em função da dose e dos DAA, nos estádios E1 e E2. Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 8 – Controle (%) da soja voluntária STS pelo dicamba em função da dose e dos DAA, nos estádios E1 e E2. Safra 2025, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2025).

6.2 EFEITO DA DOSE E DO ESTÁDIO DE APLICAÇÃO NO CONTROLE

A relação entre a dose dos herbicidas auxínicos e o controle da soja voluntária tolerante à sulfonilureia (STS) foi descrita por curvas de dose-resposta ajustadas ao modelo log-logístico de três parâmetros, para cada estágio de aplicação (E1 – Zadoks 31-32; E2 – Zadoks 21-25) e ao longo das quatro avaliações realizadas (7, 14, 28 e 35 dias após a aplicação – DAA). De modo geral, observou-se incremento progressivo do controle com o aumento da dose e com o avanço do tempo após a aplicação, em ambas as safras, confirmando o comportamento típico de herbicidas de ação sistêmica e o efeito acumulado da translocação do produto na planta.

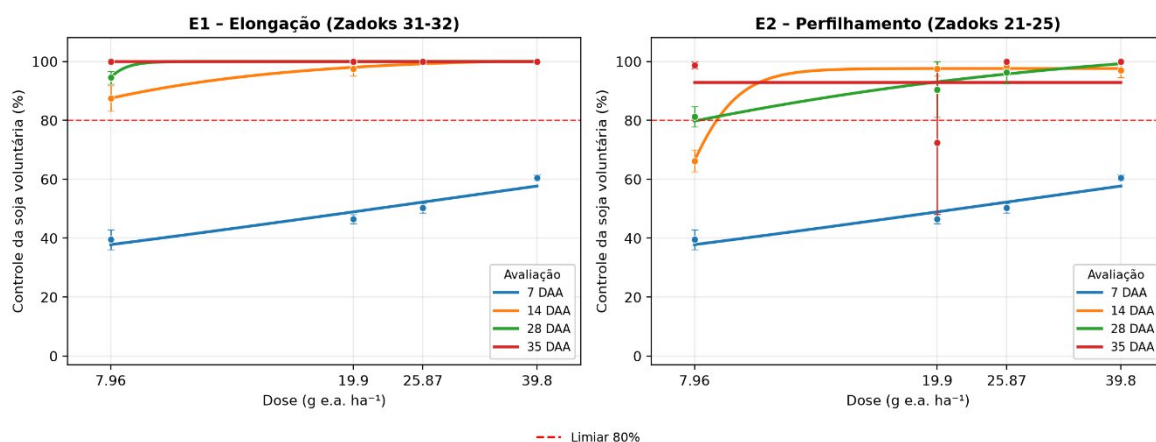
Independentemente da molécula avaliada, a aplicação realizada no estágio mais precoce (E1 – alongação) resultou, em média, em controle superior ao obtido no estágio mais avançado (E2 – perfilhamento). Aos 35 DAA, o controle médio no estágio E1 foi de 85,4% em 2024 e 95,0% em 2025, enquanto no estágio E2 os valores médios foram de 77,0% e 94,7%, respectivamente. Esse resultado reforça que plantas de soja voluntária em estádios menos desenvolvidos são mais suscetíveis aos herbicidas auxínicos, em razão da maior atividade meristemática e da menor reserva de carboidratos, fatores que potencializam a ação da molécula e dificultam a recuperação da planta.

6.2.1 Florpyrauxifen-benzyl

O florpyrauxifen-benzyl apresentou as curvas de dose-resposta mais íngremes e os maiores níveis de controle entre todos os herbicidas avaliados, em ambas as safras e estádios. Mesmo na menor dose avaliada (7,96 g e.a. ha⁻¹), a molécula superou o limiar de 80% de controle a partir dos 14 DAA, atingindo controle praticamente completo (100%) aos 35 DAA em todas as doses, nas duas safras. A elevada eficiência já em doses reduzidas evidencia a alta atividade biológica do florpyrauxifen-benzyl sobre a soja voluntária STS, caracterizando-o como a opção mais promissora para o manejo desta planta daninha em condições semelhantes às do presente estudo.

Na safra 2024 (Figura 9), nota-se que as curvas dos 14, 28 e 35 DAA praticamente se sobrepõem no patamar de 100% de controle, com diferença marcante apenas aos 7 DAA, quando o controle ainda evoluía de 38% a 60% conforme a dose. O comportamento foi semelhante nos dois estádios de aplicação, indicando baixa dependência do estágio fenológico para esta molécula.

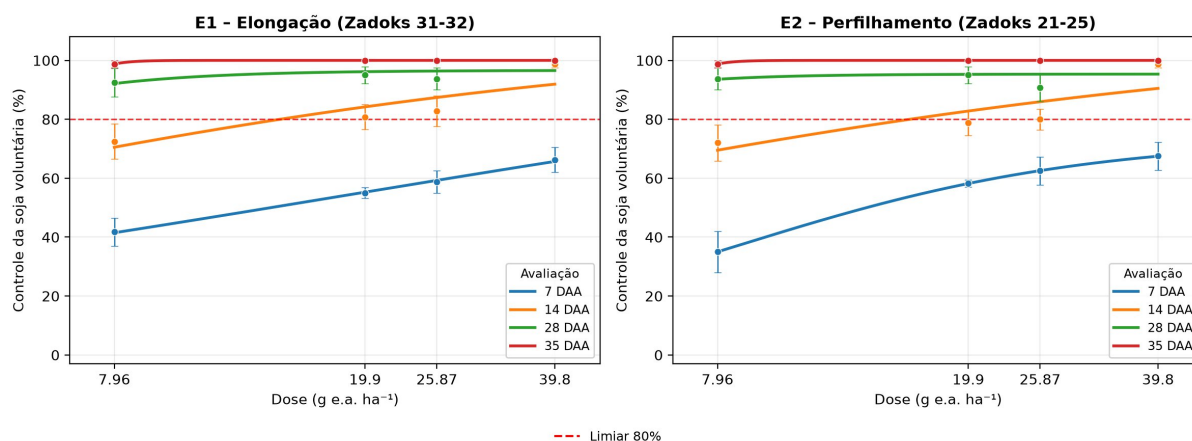
Figura 9 – Florpyrauxifen-benzyl — curvas de dose-resposta no controle da soja voluntária STS, nos estádios E1 e E2 e nas avaliações de 7, 14, 28 e 35 DAA. Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2026).

Na safra 2025 (Figura 10), o padrão se repetiu, com controle elevado já nas primeiras avaliações e estabilização em 100% aos 35 DAA, confirmando a consistência do florpyrauxifen-benzyl entre safras.

Figura 10 – Florpyrauxifen-benzyl — curvas de dose-resposta no controle da soja voluntária STS, nos estádios E1 e E2 e nas avaliações de 7, 14, 28 e 35 DAA. Safra 2025, Ponta Grossa-PR.



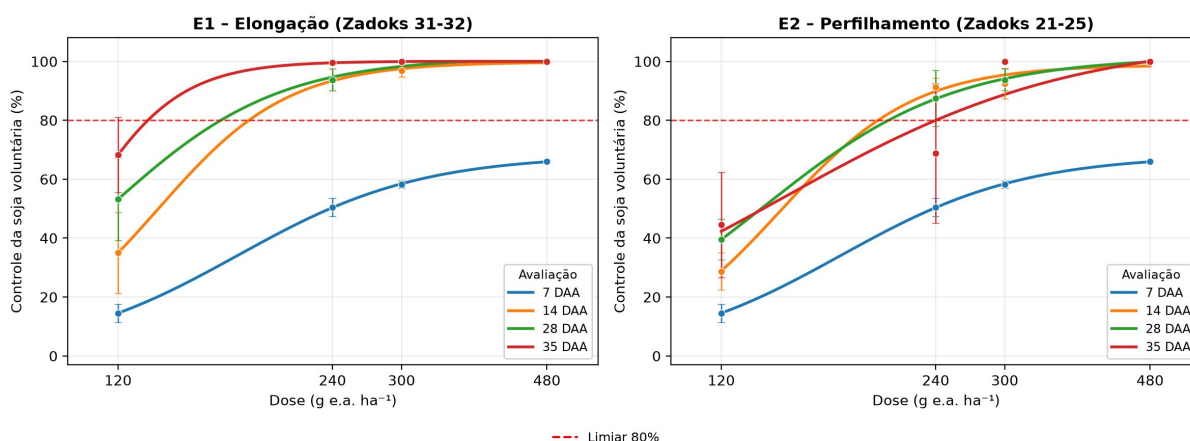
Fonte: O autor (2026).

6.2.2 Picloram

O picloram também proporcionou controle elevado e consistente, com curvas de resposta bem definidas. Nas maiores doses (480 g e.a. ha⁻¹), o controle atingiu 100% aos 35 DAA em ambos os estádios e safras. Observou-se que, nas avaliações iniciais (7 e 14 DAA), o estágio E1 apresentou resposta mais rápida em relação ao E2, evidenciando a influência do estágio fenológico sobre a velocidade de ação do herbicida.

Na safra 2024 (Figura 11), as curvas mostram nítido efeito de dose aos 7 DAA, com o controle variando de cerca de 15% na menor dose a mais de 60% na maior; com o avanço do tempo, as curvas deslocam-se para cima e à esquerda, atingindo o limiar de 80% em doses progressivamente menores.

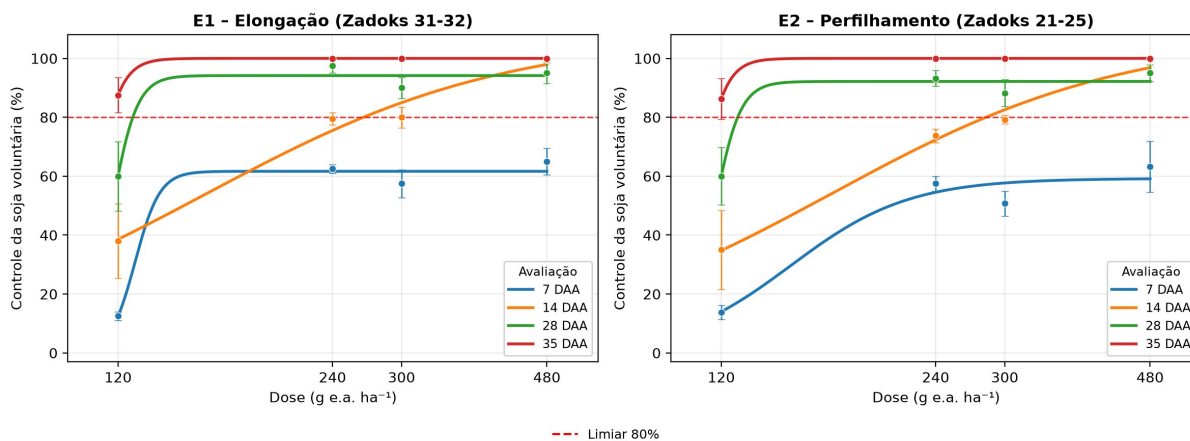
Figura 11 – Picloram — curvas de dose-resposta no controle da soja voluntária STS, nos estádios E1 e E2 e nas avaliações de 7, 14, 28 e 35 DAA. Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2026).

Na safra 2025 (Figura 12), o picloram apresentou resposta ainda mais rápida, com as curvas de 28 e 35 DAA superando o limiar de 80% já nas doses intermediárias, em ambos os estádios. A partir dos 28 DAA, as diferenças entre E1 e E2 reduziram-se, indicando que o picloram mantém boa eficácia mesmo quando aplicado em plantas mais desenvolvidas, desde que utilizada dose adequada.

Figura 12 – Picloram — curvas de dose-resposta no controle da soja voluntária STS, nos estádios E1 e E2 e nas avaliações de 7, 14, 28 e 35 DAA. Safra 2025, Ponta Grossa-PR.



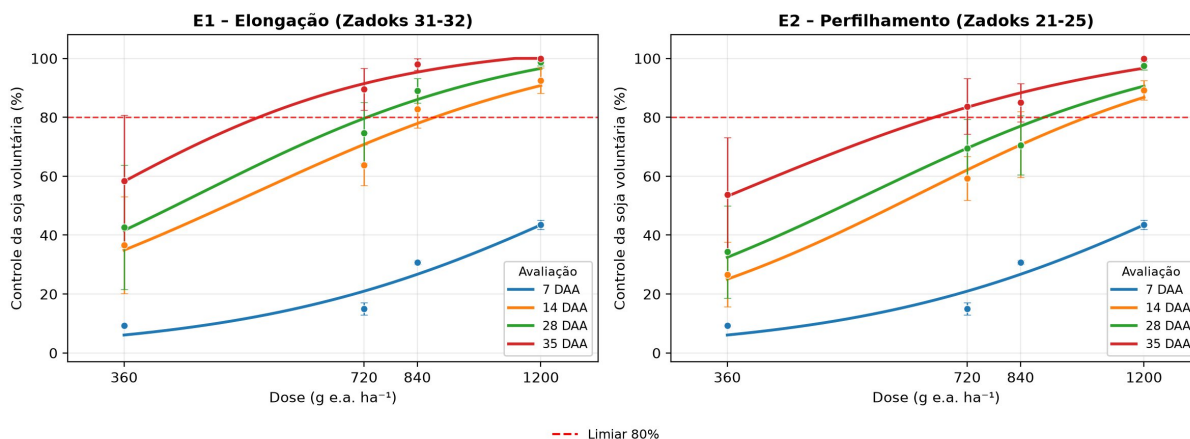
Fonte: O autor (2026).

6.2.3 Triclopir

O triclopir exigiu doses mais elevadas para alcançar níveis satisfatórios de controle, refletindo curvas de dose-resposta de menor inclinação nas avaliações iniciais. Nas avaliações de 7 e 14 DAA, o controle permaneceu, em sua maioria, abaixo do limiar de 80%, especialmente no estágio E2.

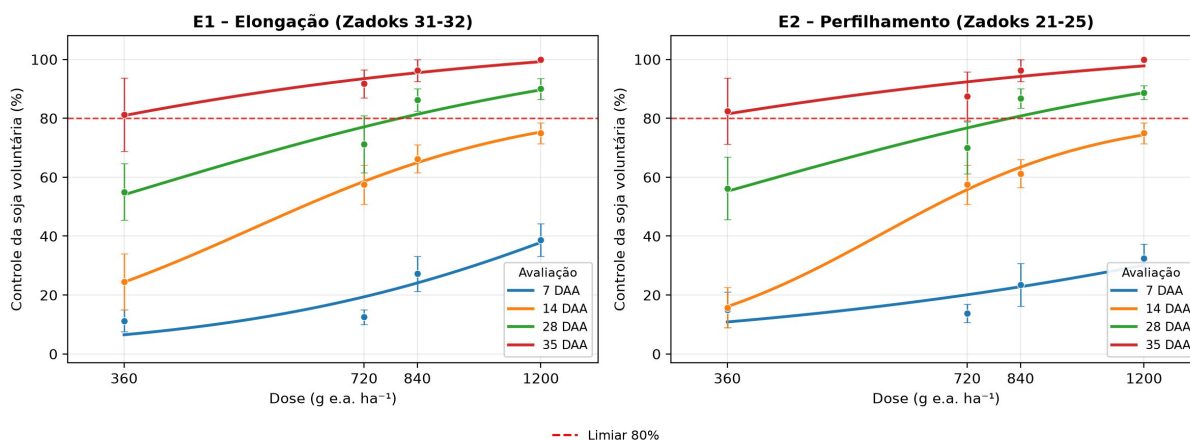
Na safra 2024 (Figura 13), observa-se claramente a ação mais lenta da molécula: aos 7 DAA o controle não ultrapassou 45% mesmo na maior dose, e somente aos 28 e 35 DAA as doses superiores (840 e 1200 g e.a. ha⁻¹) ultrapassaram o limiar de eficiência, atingindo 100% de controle na maior dose.

Figura 13 – Triclopir — curvas de dose-resposta no controle da soja voluntária STS, nos estádios E1 e E2 e nas avaliações de 7, 14, 28 e 35 DAA. Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Na safra 2025 (Figura 14), o triclopir manteve o mesmo padrão de resposta gradual, com nítida separação entre as curvas dos diferentes DAA e clara vantagem do estágio E1 sobre o E2 nas avaliações intermediárias. Esse comportamento confirma que o triclopir possui ação mais lenta sobre a soja voluntária STS, demandando maior intervalo de tempo e maior dose para expressar todo o seu potencial de controle.

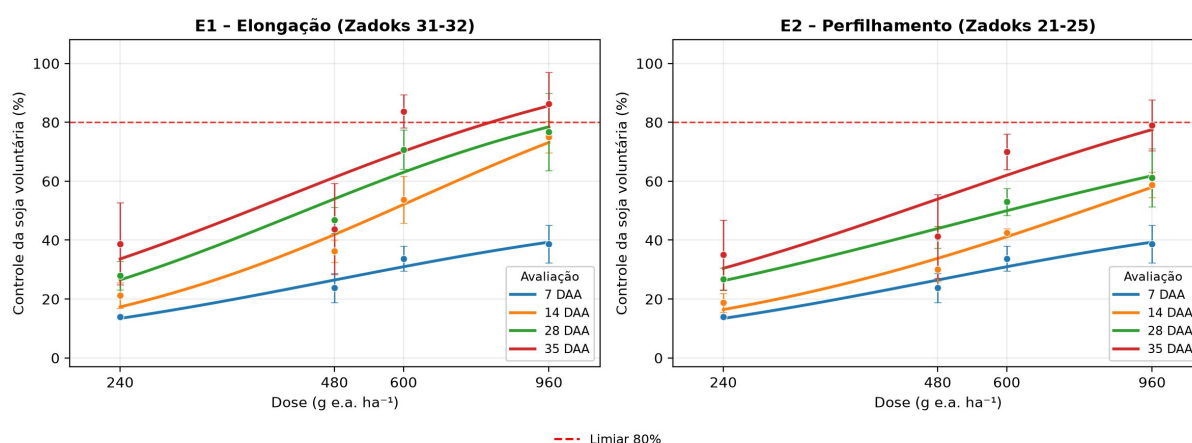
Figura 14 – Triclopir — curvas de dose-resposta no controle da soja voluntária STS, nos estádios E1 e E2 e nas avaliações de 7, 14, 28 e 35 DAA. Safra 2025, Ponta Grossa-PR.



6.2.4 Dicamba

Entre os herbicidas avaliados, o dicamba apresentou o controle mais dependente da dose e do estágio de aplicação. Na safra 2024 (Figura 15), mesmo na maior dose (960 g e.a. ha⁻¹), o controle aos 35 DAA foi de 86% no estágio E1 e de apenas 79% no estágio E2, este último situado exatamente no limiar de eficiência. As curvas evidenciam forte efeito de dose e separação consistente entre os estádios, com o E1 sempre acima do E2.

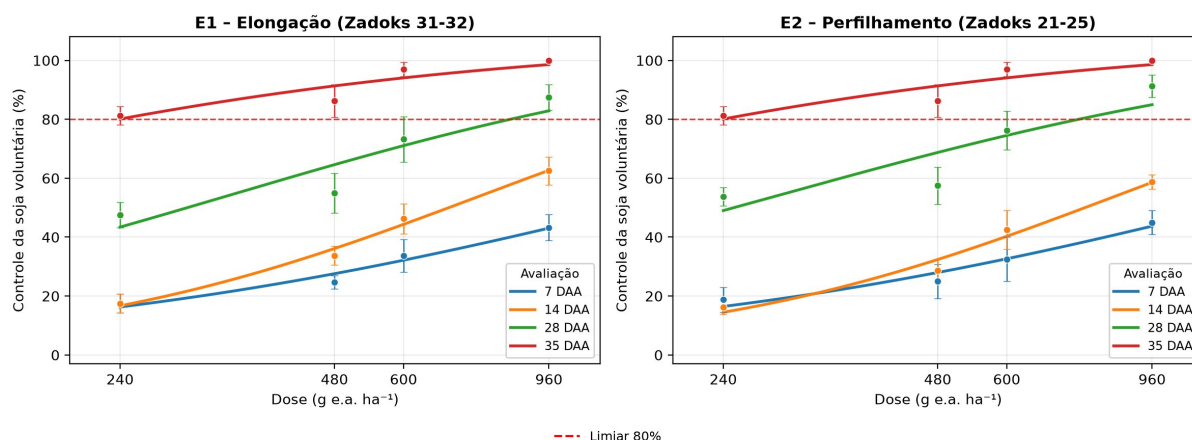
Figura 15 – Dicamba — curvas de dose-resposta no controle da soja voluntária STS, nos estádios E1 e E2 e nas avaliações de 7, 14, 28 e 35 DAA. Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2026).

Já na safra 2025 (Figura 16), o desempenho do dicamba foi superior, atingindo 100% de controle na maior dose em ambos os estádios e ultrapassando o limiar de 80% também em doses intermediárias aos 35 DAA. Essa variação entre safras sugere forte influência das condições ambientais sobre a eficácia do dicamba, bem como maior sensibilidade ao estágio fenológico da soja voluntária no momento da aplicação, fatores que devem ser considerados em estratégias de manejo que envolvam esta molécula.

Figura 16 – Dicamba — curvas de dose-resposta no controle da soja voluntária STS, nos estádios E1 e E2 e nas avaliações de 7, 14, 28 e 35 DAA. Safra 2025, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2026).

6.2.5 Considerações sobre dose e estágio

De maneira geral, os resultados demonstram que tanto a dose quanto o estágio fenológico de aplicação foram determinantes para o controle da soja voluntária STS. As moléculas flupyrauxifen-benzyl e picloram destacaram-se pela rapidez e pela magnitude do controle, atingindo o limiar de 80% mesmo em estádios mais avançados, enquanto triclopir e, sobretudo, dicamba demonstraram maior dependência de doses elevadas e de aplicação em estádios precoces. A superioridade consistente do estágio E1 sobre o E2 reforça a recomendação de antecipar a aplicação dos herbicidas auxínicos para as fases iniciais de desenvolvimento da soja voluntária, maximizando a eficiência de controle e reduzindo a necessidade de doses mais elevadas.

6.3 SELETIVIDADE E FITOTOXICIDADE DOS HERBICIDAS AO TRIGO

A seletividade dos herbicidas auxínicos à cultura do trigo foi avaliada por meio de notas visuais de fitotoxicidade (%) aos 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação (DAA), na safra 2024. Uma vez que os sintomas de fitotoxicidade observados foram equivalentes nos dois estádios de

aplicação (E1 – Zadoks 31-32 e E2 – Zadoks 21-25), a avaliação foi conduzida de forma única e geral, atribuindo-se uma nota representativa para ambos os estádios. Esse comportamento difere do observado para o controle da soja voluntária, indicando que a resposta do trigo aos herbicidas dependeu essencialmente da molécula e da dose aplicada, e não do estágio fenológico no momento da aplicação.

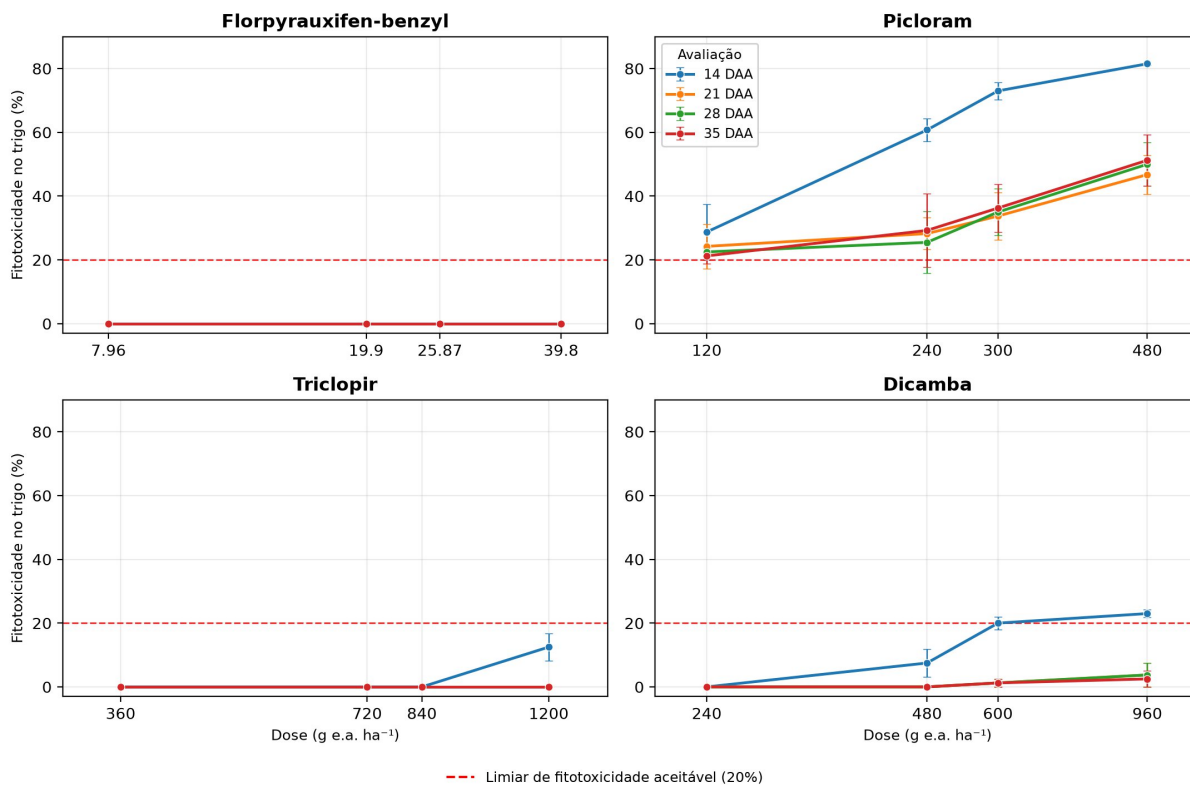
De modo geral, os herbicidas apresentaram comportamentos contrastantes quanto à seletividade. O florpyrauxifen-benzyl e o triclopir destacaram-se pela elevada seletividade ao trigo, enquanto o dicamba provocou sintomas iniciais transitórios e o picloram apresentou os maiores e mais persistentes níveis de fitotoxicidade, evidenciando menor seletividade à cultura.

6.3.1 Fitotoxicidade em função do herbicida e da dose

O florpyrauxifen-benzyl não provocou qualquer sintoma de fitotoxicidade ao trigo (0% em todas as doses e avaliações), confirmando sua elevada seletividade à cultura, característica desejável para uso em pós-emergência (Figura 17). O triclopir também demonstrou alta seletividade, com sintomas leves e transitórios, restritos à avaliação inicial (média de 3,1% aos 14 DAA) e completa recuperação das plantas a partir dos 21 DAA (0%), mesmo nas maiores doses.

O dicamba ocasionou sintomas iniciais de fitotoxicidade dose-dependentes, com média de 12,6% aos 14 DAA e pico de 25% na maior dose; contudo, esses sintomas foram transitórios, reduzindo-se a valores próximos de zero (0,9% em média) aos 35 DAA, o que indica recuperação praticamente total da cultura. Já o picloram destacou-se negativamente, com fitotoxicidade média de 61,0% aos 14 DAA e pico de 82% na maior dose, mantendo níveis elevados e persistentes ao longo de todo o período avaliado (34,5% em média aos 35 DAA). A ausência de recuperação evidencia o efeito fitotóxico residual do picloram sobre o trigo, comprometendo a seletividade desta molécula.

Figura 17 – Fitotoxicidade dos herbicidas auxínicos na cultura do trigo, em função da dose, nas avaliações de 14, 21, 28 e 35 DAA (avaliação geral, válida para os estádios E1 e E2). Safra 2024, Ponta Grossa-PR.

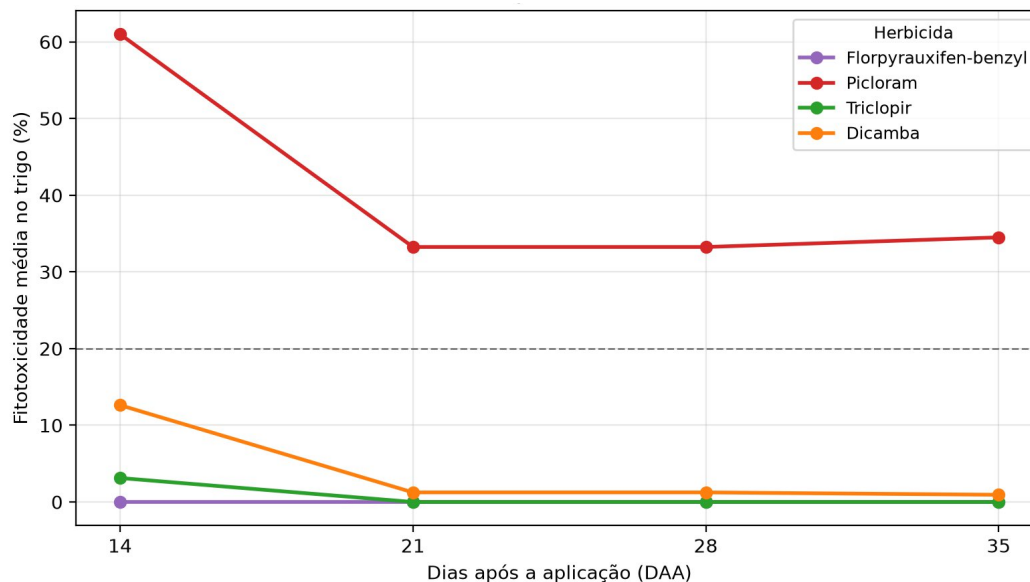


Fonte: O autor (2026).

6.3.2 Evolução temporal da fitotoxicidade

A análise da evolução temporal da fitotoxicidade (Figura 18) evidencia os distintos padrões de resposta do trigo aos herbicidas. Para o dicamba e o triclopir, os sintomas concentraram-se na avaliação inicial (14 DAA) e dissiparam-se rapidamente, caracterizando fitotoxicidade transitória e recuperação completa da cultura. O florpyrauxifen-benzyl manteve-se em zero durante todo o período. Em contraste, o picloram apresentou redução parcial dos sintomas entre 14 e 21 DAA, porém estabilizou-se em patamar elevado (acima de 30%) até o final das avaliações, sem recuperação, o que confirma o caráter persistente de sua fitotoxicidade.

Figura 18 – Evolução temporal da fitotoxicidade média no trigo, por herbicida, ao longo das avaliações (14, 21, 28 e 35 DAA). Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2026).

6.3.3 Considerações sobre seletividade

Os resultados de fitotoxicidade reforçam o florpyrauxifen-benzyl como a molécula de melhor perfil de seletividade ao trigo, associando elevada eficiência de controle da soja voluntária (seção 6.2) à ausência total de injúrias à cultura. O triclopir e o dicamba, embora tenham provocado sintomas, demonstraram recuperação completa ou quase completa da cultura, sendo considerados seletivos. O picloram, por outro lado, apesar do bom controle da soja voluntária, apresentou fitotoxicidade elevada e persistente ao trigo, fator que limita sua recomendação e que pode estar diretamente associado às perdas de produtividade observadas para esta molécula. Dessa forma, a seletividade mostrou-se um critério decisivo na seleção do herbicida, complementando a avaliação de eficiência de controle.

6.4 EFEITO DOS HERBICIDAS SOBRE A MASSA SECA DA PARTE AÉREA DO TRIGO

A massa seca da parte aérea do trigo foi avaliada como indicador complementar de seletividade dos herbicidas auxínicos, comparando-se os tratamentos à testemunha sem aplicação, nos dois estádios fenológicos (E1 – Zadoks 31-32 e E2 – Zadoks 21-25) e nas safras 2024 e 2025. A redução da massa seca em relação à testemunha foi adotada como medida do impacto de cada herbicida sobre o acúmulo de biomassa da cultura: quanto menor o valor de redução, maior a seletividade do herbicida ao trigo. Valores nulos de redução indicam que a biomassa do tratamento foi igual ou superior à da testemunha, ou seja, ausência de efeito fitotóxico sobre o crescimento da cultura.

De modo geral, os resultados de massa seca corroboraram os de fitotoxicidade visual (seção 6.3): o florypyrauxifen-benzyl, o triclopir e o dicamba não reduziram de forma relevante a biomassa do trigo, ao passo que o picloram foi o único herbicida a provocar redução expressiva da massa seca, confirmando sua menor seletividade à cultura.

6.4.1 Safra 2024

Na safra 2024 (Tabela 4 e Figura 19), o picloram destacou-se negativamente, com as maiores reduções de massa seca, atingindo 30,6% e 33,0% na dose de 1,25 L ha⁻¹ (E1 e E2, respectivamente) e 29,8% e 31,9% na dose de 2,0 L ha⁻¹, ultrapassando o limiar de aceitabilidade. Esses valores são coerentes com os elevados níveis de fitotoxicidade observados para esta molécula e indicam comprometimento do crescimento da cultura nas doses mais altas. Em contraste, o florypyrauxifen-benzyl, o triclopir e o dicamba mantiveram a biomassa do trigo equivalente ou superior à da testemunha na maioria das doses, confirmando seu perfil de seletividade à cultura.

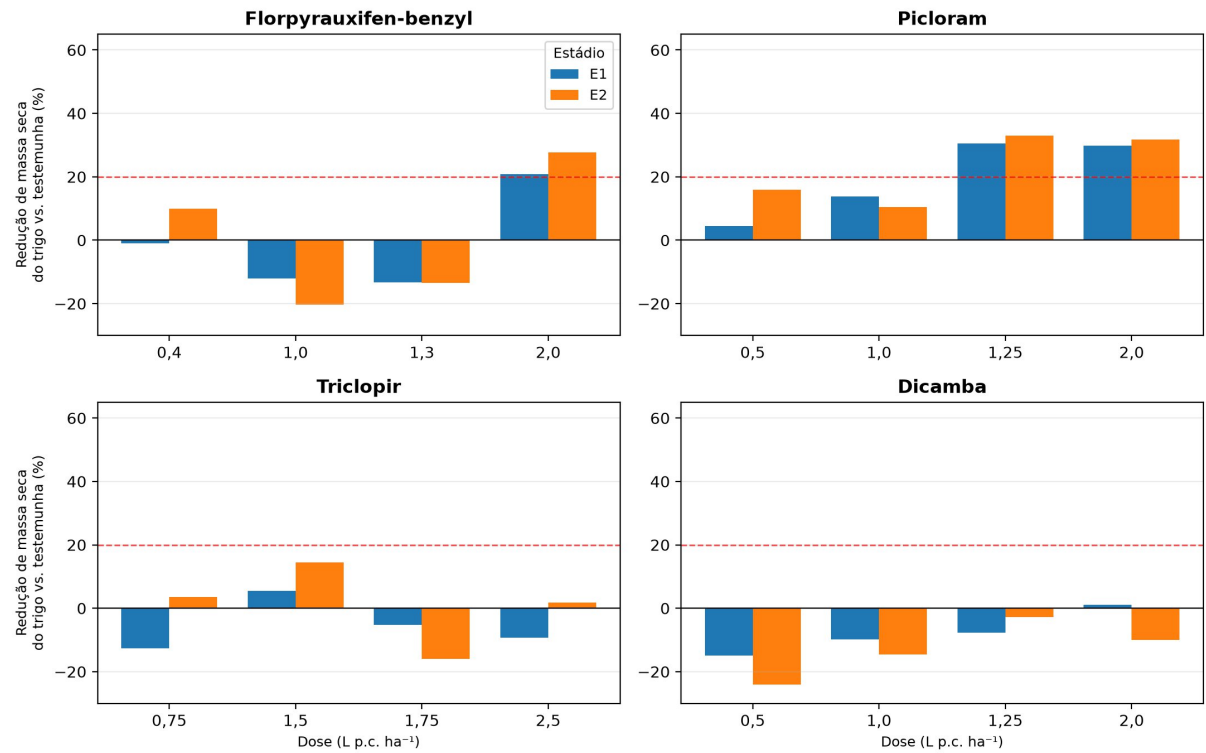
Tabela 4 – Massa seca da parte aérea do trigo (kg) e redução em relação à testemunha (%), por herbicida, dose e estágio de aplicação (E1 e E2). Safra 2024, Ponta Grossa-PR.

Herbicida	Dose (L p.c. ha ⁻¹)	MS E1 (kg)	Redução E1 (%)	MS E2 (kg)	Redução E2 (%)
Testemunha	—	0,513	0,0	0,351	0,0

Florpyrauxifen-benzyl	0,400	0,518	0,0	0,316	10,0
Florpyrauxifen-benzyl	1,000	0,575	0,0	0,422	0,0
Florpyrauxifen-benzyl	1,300	0,581	0,0	0,398	0,0
Florpyrauxifen-benzyl	2,000	0,406	20,9	0,254	27,7
Picloram	0,500	0,490	4,4	0,295	15,9
Picloram	1,000	0,442	13,8	0,314	10,5
Picloram	1,250	0,356	30,6	0,235	33,0
Picloram	2,000	0,360	29,8	0,239	31,8
Triclopir	0,750	0,578	0,0	0,338	3,6
Triclopir	1,500	0,485	5,5	0,300	14,5
Triclopir	1,750	0,540	0,0	0,407	0,0
Triclopir	2,500	0,560	0,0	0,345	1,8
Dicamba	0,500	0,589	0,0	0,435	0,0
Dicamba	1,000	0,563	0,0	0,402	0,0
Dicamba	1,250	0,552	0,0	0,361	0,0
Dicamba	2,000	0,507	1,2	0,386	0,0

Fonte: O autor (2026).

Figura 19 – Redução da massa seca a parte aérea do trigo em relação à testemunha, por herbicida, dose e estágio de aplicação (E1 e E2). Safra 2024, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2026).

6.4.2 Safra 2025

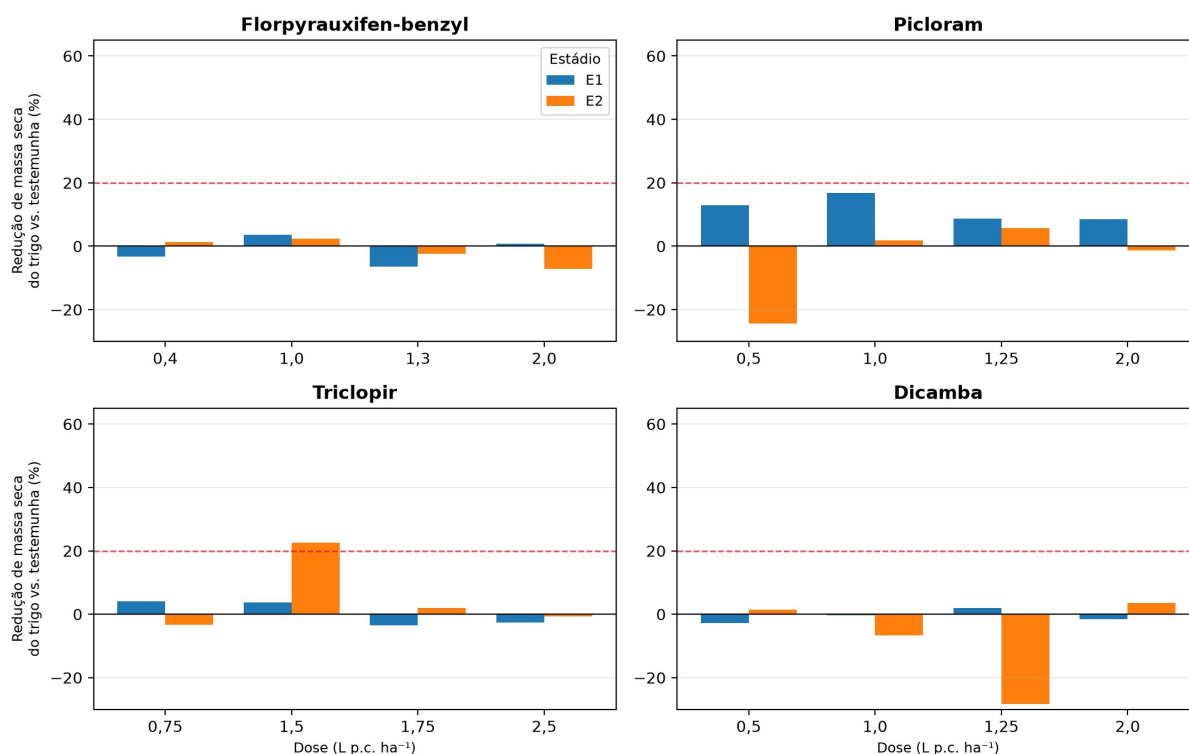
Na safra 2025 (Tabela 5 e Figura 20), o padrão geral repetiu-se, com magnitudes menores. O florypyrauxifen-benzyl novamente não reduziu de forma relevante a massa seca do trigo, reforçando sua seletividade consistente entre safras. O triclopir e o dicamba mantiveram-se próximos da testemunha, sem efeito depressivo sobre a biomassa. O picloram apresentou reduções inferiores às observadas em 2024, com maior impacto no estágio E1, sobretudo nas doses intermediárias; essa atenuação em relação à safra anterior pode estar associada às melhores condições de desenvolvimento da cultura em 2025, quando não houve ocorrência de geadas que agravassem o estresse das plantas.

Tabela 5 – Massa seca da parte aérea do trigo (kg) e redução em relação à testemunha (%), por herbicida, dose e estágio de aplicação (E1 e E2). Safra 2025, Ponta Grossa-PR.

Herbicida	Dose (L p.c. ha ⁻¹)	MS E1 (kg)	Redução E1 (%)	MS E2 (kg)	Redução E2 (%)
Testemunha	—	0,296	0,0	0,236	0,0
Florypyrauxifen-benzyl	0,400	0,305	0,0	0,232	1,5
Florypyrauxifen-benzyl	1,000	0,285	3,5	0,230	2,5
Florypyrauxifen-benzyl	1,300	0,315	0,0	0,241	0,0
Florypyrauxifen-benzyl	2,000	0,293	0,8	0,253	0,0
Picloram	0,500	0,258	12,8	0,293	0,0
Picloram	1,000	0,246	16,7	0,231	2,0
Picloram	1,250	0,270	8,6	0,223	5,7
Picloram	2,000	0,271	8,5	0,239	0,0
Triclopir	0,750	0,284	4,1	0,244	0,0
Triclopir	1,500	0,285	3,7	0,182	22,7
Triclopir	1,750	0,306	0,0	0,231	2,0
Triclopir	2,500	0,303	0,0	0,237	0,0
Dicamba	0,500	0,304	0,0	0,232	1,5
Dicamba	1,000	0,297	0,0	0,251	0,0
Dicamba	1,250	0,290	2,0	0,302	0,0
Dicamba	2,000	0,301	0,0	0,227	3,6

Fonte: O autor (2026).

Figura 20 – Redução da massa seca da parte aérea do trigo em relação à testemunha, por herbicida, dose e estágio de aplicação (E1 e E2). Safra 2025, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2026).

6.4.3 Considerações sobre massa seca e seletividade

Os resultados de massa seca confirmam, por uma medida quantitativa de crescimento, as conclusões obtidas pela avaliação visual de fitotoxicidade. O florpyrauxifen-benzyl manteve a biomassa do trigo equivalente à da testemunha em ambas as safras e estádios, consolidando-se como o herbicida de melhor seletividade à cultura. O triclopir e o dicamba também demonstraram seletividade satisfatória, sem reduções relevantes de massa seca. O picloram, por outro lado, foi o único a comprometer o acúmulo de biomassa, com reduções expressivas em 2024, o que reforça sua menor seletividade e ajuda a explicar as perdas de produtividade associadas a esta molécula. Dessa forma, a massa seca mostrou-se um parâmetro complementar relevante, fortalecendo a recomendação do florpyrauxifen-benzyl e a restrição ao uso do picloram na cultura do trigo.

6.5 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DO TRIGO

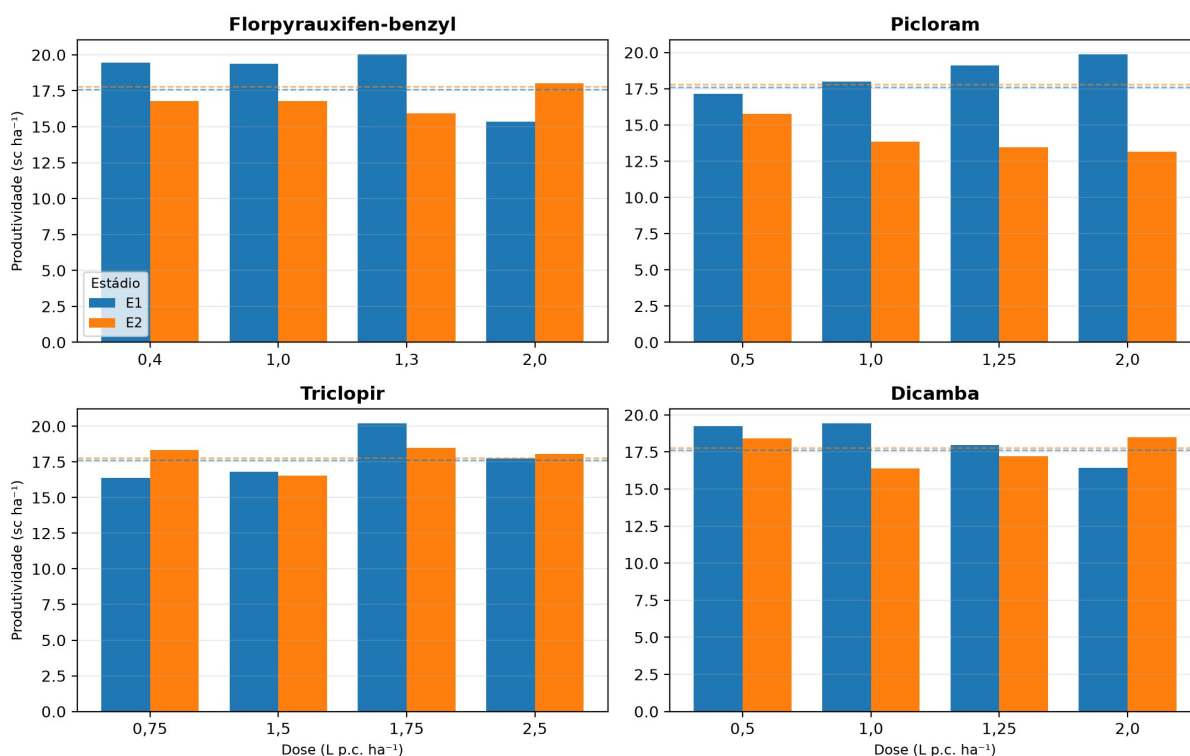
A produtividade de grãos foi avaliada como variável-resposta final do experimento, integrando os efeitos de seletividade e de eventuais injúrias dos herbicidas auxínicos sobre a cultura do trigo. Os grãos foram colhidos na área útil de cada parcela, e a produtividade foi expressa em sacas por hectare (sc ha^{-1}), padronizando-se a umidade dos grãos a 13%. A avaliação foi realizada nos dois estádios de aplicação (E1 e E2) e nas safras 2024 e 2025, comparando-se cada tratamento à testemunha sem aplicação de herbicida.

De modo geral, a produtividade confirmou o padrão observado nas avaliações de controle, fitotoxicidade e massa seca: o florpyrauxifen-benzyl, o triclopir e o dicamba mantiveram a produtividade do trigo equivalente à da testemunha, sem perdas relevantes, enquanto o picloram provocou reduções acentuadas de produtividade, sobretudo nas maiores doses, evidenciando o comprometimento produtivo associado à sua menor seletividade.

6.5.1 Safra 2024

Na safra 2024 (Tabela 6 e Figura 21), a testemunha apresentou produtividade média de $17,6 \text{ sc ha}^{-1}$ no estádio E1 e $17,8 \text{ sc ha}^{-1}$ no E2. O florpyrauxifen-benzyl, o triclopir e o dicamba mantiveram produtividade semelhante ou superior à da testemunha, sem perdas relevantes, confirmando sua seletividade à cultura. O picloram foi o herbicida que mais comprometeu a produtividade, com perdas crescentes em função da dose no estádio E2, atingindo 26,0% na maior dose ($2,0 \text{ L ha}^{-1}$), em consonância com a elevada fitotoxicidade e a redução de massa seca observadas para esta molécula nesta safra. Ressalta-se que as produtividades obtidas em 2024 foram, de modo geral, inferiores às de 2025, em decorrência da ocorrência de geadas durante o ciclo da cultura, que afetaram o enchimento de grãos.

Figura 21 – Produtividade de grãos do trigo, por herbicida, dose e estágio de aplicação (E1 e E2). Safra 2024, Ponta Grossa-PR.

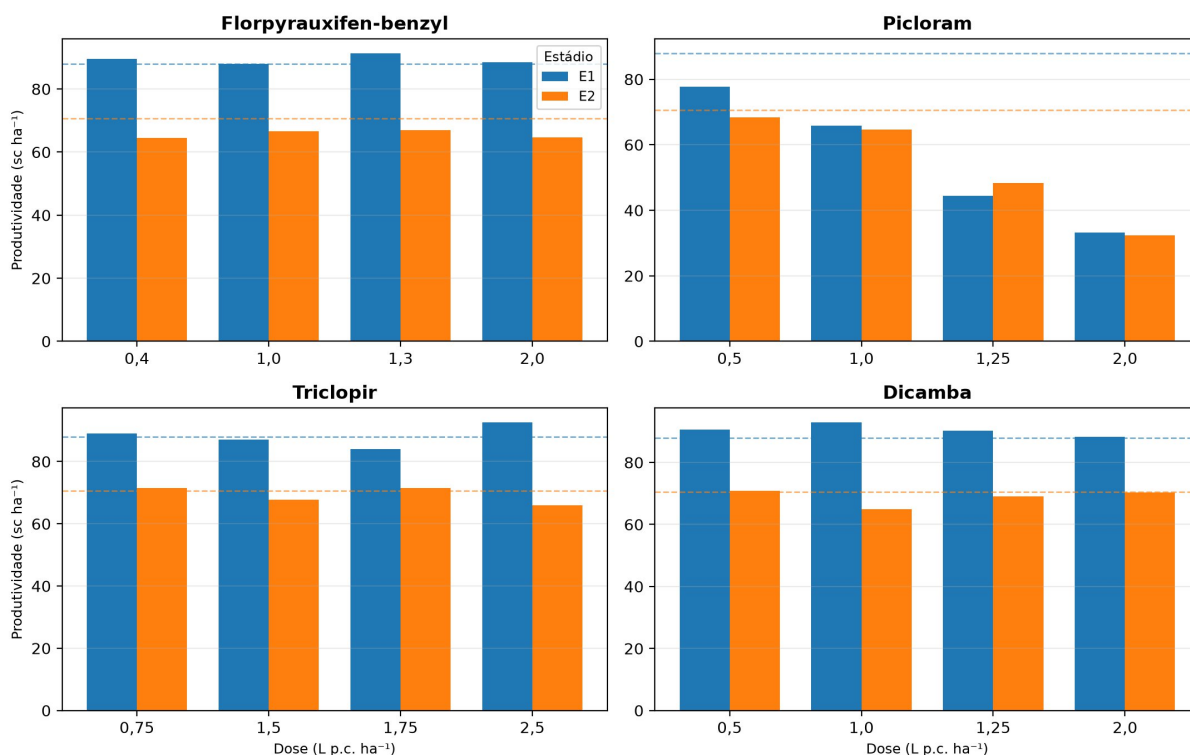


Fonte: O autor (2026).

6.5.2 Safra 2025

Na safra 2025 (Tabela 7 e Figura 22), em razão das condições climáticas mais favoráveis e da ausência de geadas, as produtividades foram superiores às da safra anterior, com a testemunha atingindo 87,9 sc ha⁻¹ (E1) e 70,6 sc ha⁻¹ (E2). O padrão de seletividade, contudo, repetiu-se de forma ainda mais evidente. O florpyrauxifen-benzyl, o triclopir e o dicamba mantiveram a produtividade equivalente à da testemunha, confirmando sua seletividade entre safras. O picloram, em contraste, provocou as maiores perdas de produtividade, com redução proporcional ao aumento da dose, atingindo 49,5% na dose de 1,25 L ha⁻¹ e 62,2% na dose de 2,0 L ha⁻¹ no estágio E1, e 54,3% na maior dose no E2. Esse resultado reforça que a menor seletividade do picloram se traduz diretamente em perda produtiva da cultura, sobretudo nas doses mais elevadas.

Figura 22 – Produtividade de grãos do trigo, por herbicida, dose e estágio de aplicação (E1 e E2). Safra 2025, Ponta Grossa-PR.



Fonte: O autor (2026).

6.5.3 Considerações sobre produtividade

Os resultados de produtividade consolidam as conclusões obtidas nas avaliações de controle, fitotoxicidade e massa seca. O florpyrauxifen-benzyl destacou-se por aliar elevada eficiência de controle da soja voluntária, ausência de fitotoxicidade e manutenção da produtividade do trigo, configurando-se como o herbicida de melhor desempenho global. O triclopir e o dicamba também preservaram a produtividade da cultura, confirmando-se como moléculas seletivas, embora limitadas pela menor eficiência de controle. O picloram, apesar do bom controle da soja voluntária, foi o único herbicida a comprometer significativamente a produtividade do trigo, com perdas proporcionais à dose, o que restringe sua recomendação para uso seletivo na cultura. Cabe destacar, ainda, a forte influência das condições climáticas sobre a produtividade: a ocorrência de geadas na safra 2024 reduziu de forma expressiva o

potencial produtivo em relação à safra 2025, evidenciando que o ambiente é determinante tanto para a expressão da seletividade quanto para o rendimento final da cultura. Dessa forma, a produtividade de grãos confirmou o florypyrauxifen-benzyl como a opção mais promissora para o controle seletivo da soja voluntária tolerante à sulfonilureia em trigo.

7 CONCLUSÕES

A eficiência de controle da soja voluntária tolerante à sulfonilureia e a seletividade ao trigo dos herbicidas auxínicos foram dependentes do herbicida (grupo químico), da dose aplicada e do estágio fenológico de aplicação, confirmando-se a hipótese do estudo.

O florpyrauxifen-benzyl apresentou a maior eficiência de controle da soja voluntária (80,2–83,5%), seguido pelo picloram (74,6–75,6%), pelo triclopir (58,1–60,8%) e pelo dicamba (45,0–56,8%). O controle eficaz ($\geq 80\%$) foi obtido de forma consistente apenas pelo florpyrauxifen-benzyl, nas doses de 1,3 a 2,0 L p.c. ha⁻¹, enquanto o dicamba e o triclopir não atingiram o limiar de eficiência exigido, mesmo nas maiores doses.

A aplicação no estágio E1 (Zadoks 31–32) proporcionou maior eficiência de controle (2 a 5 pontos percentuais) em relação ao estágio E2 (Zadoks 21–25) para todos os herbicidas, embora o florpyrauxifen-benzyl tenha demonstrado baixa dependência do estágio fenológico, mantendo controle elevado em ambas as épocas.

Quanto à seletividade, o florpyrauxifen-benzyl destacou-se por não provocar fitotoxicidade ao trigo (0% em todas as doses e avaliações) e por manter a massa seca e a produtividade equivalentes às da testemunha, configurando-se como o herbicida mais seletivo à cultura. O triclopir e o dicamba também demonstraram seletividade satisfatória, com sintomas leves e transitórios e sem perdas relevantes de produtividade. O picloram, por outro lado, foi o único herbicida a comprometer a seletividade, causando fitotoxicidade persistente, redução expressiva da massa seca e perdas de produtividade proporcionais à dose.

A seletividade dos herbicidas ao trigo mostrou-se, ainda, fortemente influenciada pelas condições climáticas. A ocorrência de geadas na safra 2024 intensificou os sintomas de fitotoxicidade e reduziu o potencial produtivo da cultura em relação à safra 2025, conduzida sob condições mais favoráveis, evidenciando que o ambiente é determinante tanto para a expressão da seletividade quanto para o rendimento final.

Considerando-se conjuntamente o controle eficaz da soja voluntária ($\geq 80\%$) e a seletividade aceitável ao trigo (fitotoxicidade $\leq 10\%$ e ausência de perdas de produtividade), nesse estudo recomenda-se o florpyrauxifen-benzyl nas doses de 1,3 a 2,0 L p.c. ha⁻¹, aplicado no estágio E1 sob condições favoráveis ou no estágio E2 sob condições adversas. O dicamba

e o triclopir não são recomendados em razão da eficiência de controle insuficiente, e o picloram, apesar do bom controle, tem seu uso restringido pela baixa seletividade à cultura.

Conclui-se que o florpyrauxifen-benzyl foi a melhor opção para o manejo da soja voluntária tolerante à sulfonilureia na cultura do trigo, no sistema de sucessão soja-trigo da região dos Campos Gerais do Paraná, por conciliar elevada eficiência de controle, ausência de fitotoxicidade e manutenção da produtividade da cultura.

REFERÊNCIAS

- ABITRIGO (Associação Brasileira da Indústria do Trigo). **Dados do setor tritícola brasileiro**. 2024. Disponível em: <https://abitrito.com.br>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P.; VOLL, E. Interferência da infestação de plantas voluntárias no sistema de produção com a sucessão soja e milho safrinha. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, 29., 2014, Gramado. **Anais [...]** Londrina: SBCPD, 2014.
- AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; SILVA, J. M. B. V.; TIRONI, S. P.; ANDRES, A. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, p. 993-1003, 2010. Número Especial.
- ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; SILVA, A. F. M.; KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; VICTORIA FILHO, R. Rates of chlorimuron applied in glyphosate-tolerant and sulfonylurea-tolerant soybean. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 211-216, set. 2018.
- ALMS, J.; CLAY, S. A.; VOS, D.; MOEHNIG, M. Corn yield loss due to volunteer soybean. **Weed Science**, [S. l.], v. 64, n. 3, p. 495-500, 2016.
- ARAGÃO, F. J. L.; SAROKIN, L.; VIANNA, G. R.; RECH, E. L. Selection of transgenic meristematic cells utilizing a herbicidal molecule results in the recovery of fertile transgenic soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] plants at a high frequency. **Theoretical and Applied Genetics**, [S. l.], v. 101, n. 1-2, p. 1-6, 2000.
- BECKIE, H. J.; OWEN, M. D. K. Herbicide-resistant crops as weeds in North America. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, [S. l.], v. 2, n. 044, p. 1-11, 2007.
- BEHRENS, R.; LUESCHEN, W. E. Dicamba volatility. **Weed Science**, [S. l.], v. 27, n. 5, p. 486-493, 1979.
- BISH, M. D.; FARRELL, S. T.; LERCH, R. N.; BRADLEY, K. W. Dicamba losses to air after applications to soybean under stable and nonstable atmospheric conditions. **Journal of Environmental Quality**, [S. l.], v. 48, n. 5, p. 1675-1682, 2019.
- BROWN, H. M. Mode of action, crop selectivity, and soil relations of the sulfonylurea herbicides. **Pesticide Science**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 263-281, 1990.
- 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**, [S. l.], v. 74, n. 10, p. 2265-2276, 2018.
- COLOMBO, M.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; ARAÚJO, G. V. de; SILVA, A. F. M. Agronomic performance of wheat under post-emergence herbicide application. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 52, e69908, 2022.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos** - Safra 2024/25. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 03 jan. 2025.

CWSS-SCM (Canadian Weed Science Society – Société Canadienne de Malherbologie). **Description of 0-100 rating scale for herbicide efficacy and crop phytotoxicity**. [S. l.], 2018. Disponível em: https://weedsociety.ca/3_resources/cwss_scm-rating-scale/.

DUGGLEBY, R. G.; PANG, S. S. Acetohydroxyacid synthase. **Journal of Biochemistry and Molecular Biology**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 1-36, jan. 2000.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, [S. l.], v. 64, n. 4, p. 319-325, 2008.

EGAN, J. F.; MORTENSEN, D. A. A comparison of land-sharing and land-sparing strategies for plant richness conservation in agricultural landscapes. **Ecological Applications**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 459-471, mar. 2012.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT: crops and livestock products**. Roma: FAO, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

EPP, J. B. et al. The discovery of Arylex™ active and Rinskor™ active: two novel auxin herbicides. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 362-371, fev. 2016.

GANIE, Z. A.; JHALA, A. J. Weed control and crop safety in sulfonylurea/glyphosate-resistant soybean. **Canadian Journal of Plant Science**, [S. l.], v. 100, n. 6, p. 629-641, dez. 2020.

GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 5, p. 407-421, maio 2016.

GREENE, E. A.; CODOMO, C. A.; TAYLOR, N. E.; HENIKOFF, J. G.; TILL, B. J.; REYNOLDS, S. H.; ENNS, L. C.; BURTNER, C.; JOHNSON, J. E.; ODDEN, A. R.; COMAI, L.; HENIKOFF, S. Spectrum of chemically induced mutations from a large-scale reverse-genetic screen in Arabidopsis. **Genetics**, [S. l.], v. 164, n. 2, p. 731-740, jun. 2003.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, [S. l.], v. 66, n. 2, p. 113-120, fev. 2010.

HEAP, I. Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest Management Science**, [S. l.], v. 70, n. 9, p. 1306-1315, set. 2014.

IDR-PARANÁ (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná). **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: Estação Meteorológica de Ponta Grossa**. Londrina: IDR-Paraná, 2024-2025. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/sma>. Acesso em: 10 out. 2025.

KRÄMER, W.; SCHIRMER, U.; JESCHKE, P.; WITSCHER, M. (Ed.). **Modern crop protection compounds**. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2012.

LAMEGO, F. P.; FLECK, N. G.; BIANCHI, M. A.; SCHAEDLER, C. E. Tolerância à interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por genótipos de soja: II. Resposta de variáveis de produtividade. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 8, out./dez. 2004.

LAMEGO, F. P.; FLECK, N. G.; BIANCHI, M. A.; SCHAEDLER, C. E. Tolerância à interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por cultivares de soja: I. Resposta de variáveis de crescimento. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 405-414, jul./set. 2005.

LAMEGO, F. P.; KASPARY, T. E.; RUCHEL, Q.; GALLON, M.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L. Manejo de *Conyza bonariensis* resistente ao glyphosate: coberturas de inverno e herbicidas em pré-semeadura da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 433-442, abr./jun. 2013.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals: illustration of the Feekes scale. **Plant Pathology**, [S. l.], v. 3, n. 4, p. 128-129, dez. 1954.

MANTOVANI, E. E. **Caracterização agrônômica de progênies de soja contendo alelos para tolerância a herbicidas das sulfoniluréias**. 2017. 92 Tese Doutorado em Ciências Agrárias - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MANTOVANI, E. E.; SOUZA, N. O. S.; SILVA, L. A. S.; SANTOS, M. A. Characterization of soybean population with sulfonylurea herbicides tolerant alleles. **African Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 12, n. 19, p. 1661-1668, maio 2017.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Registro Nacional de Cultivares**: RNC. Brasília: MAPA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 10 jan. 2025.

MCMMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 87, n. 4, p. 291-300, dez. 1997.

MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços). **Estatísticas de comércio exterior**. Brasília: MDIC, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic>. Acesso em: 10 jan. 2025.

NORSWORTHY, J. K.; GRIFFITH, G.; GRIFFIN, T.; BAGAVATHIANNAN, M.; GBUR, E. E. In-field movement of glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and its impact on cotton lint yield: evidence supporting a zero-threshold strategy. **Weed Science**, [S. l.], v. 62, n. 2, p. 237-249, 2014.

OTT, K.-H.; KWAGH, J.-G.; STOCKTON, G. W.; SIDOROV, V.; KAKEFUDA, G. Rational molecular design and genetic engineering of herbicide resistant crops by structure modeling and site-directed mutagenesis of acetohydroxyacid synthase. **Journal of Molecular Biology**, [S. l.], v. 263, n. 2, p. 359-368, out. 1996.

PARANÁ COOPERATIVO. **Produção de trigo no Paraná: safra 2024**. Curitiba: Sistema OCEPAR, 2025. Disponível em: <https://paranacooperativo.coop.br>. Acesso em: 10 jan. 2025.

ROBINSON, A. P.; SIMPSON, D. M.; JOHNSON, W. G. Response of glyphosate-tolerant soybean yield components to dicamba exposure. **Weed Science**, [S. l.], v. 61, n. 4, p. 526-536, out./dez. 2013.

SEAB-PR (Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná). **Produção agropecuária paranaense**. Curitiba: SEAB-PR, 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SEBASTIAN, S. A.; FADER, G. M.; ULRICH, J. F.; FORNEY, D. R.; CHALEFF, R. S. Semidominant soybean mutation for resistance to sulfonylurea herbicides. **Crop Science**, [S. l.], v. 29, n. 6, p. 1403-1408, nov./dez. 1989.

SHANER, D. L.; NADLER-HASSAR, T.; HENRY, W. B.; KOGER, C. H. A rapid in vivo shikimate accumulation assay with excised leaf discs. **Weed Science**, [S. l.], v. 53, n. 6, p. 769-774, nov./dez. 2005.

SHEWRY, P. R. Wheat. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 60, n. 6, p. 1537-1553, abr. 2009.

SILVA, A. F. M. **Seletividade de herbicidas aplicados de forma isolada e associada em soja RR/STS**. 2016. Dissertação Mestrado em Agronomia - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SILVA, A. F. M.; ALBRECHT, A. J. P.; SILVA, G. S.; KASHIVAQUI, E. S. F.; ALBRECHT, L. P.; VICTORIA FILHO, R. Rates of nicosulfuron applied in glyphosate-tolerant and sulfonylurea-tolerant soybean. **Planta Daninha**, [S. l.], v. 37, e019210010, p. 1-11, 2019.

SKELTON, J. J.; MA, R.; RIECHERS, D. E. Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) control under drought stress with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and glyphosate. **Weed Biology and Management**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 34-41, mar. 2016.

SONG, Y. Insight into the mode of action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) as an herbicide. **Journal of Integrative Plant Biology**, [S. l.], v. 56, n. 2, p. 106-113, jan. 2014.

STERLING, T. Mechanism of action of natural auxins and the auxinic herbicides. **Reviews in Toxicology**, [S. l.], v. 1, p. 111-141, 1997.

TAN, S.; EVANS, R. R.; DAHMER, M. L.; SINGH, B. K.; SHANER, D. L. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. **Pest Management Science**, [S. l.], v. 61, n. 3, p. 246-257, mar. 2005.

TRANEL, P. J.; WRIGHT, T. R. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? **Weed Science**, [S. l.], v. 50, n. 6, p. 700-712, nov./dez. 2002.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Reregistration Eligibility Decision (RED)**: picloram. EPA 738-R-95-019. Washington, DC: USEPA, 1995.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Reregistration Eligibility Decision (RED)**: triclopyr. EPA 738-R-98-011. Washington, DC: USEPA, 1998.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Reregistration Eligibility Decision (RED)**: 2,4-D. EPA 738-R-05-002. Washington, DC: USEPA, 2005.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Reregistration Eligibility Decision (RED)**: dicamba. EPA 738-R-06-007. Washington, DC: USEPA, 2006.

USTUN, R.; UZUN, B. Development of a high yielded chlorsulfuron-resistant soybean (*Glycine max* L.) variety through mutation breeding. **Agriculture**, [S. l.], v. 13, n. 3, 559, 2023.

WALSH, T. A.; NEAL, R.; MERLO, A. O.; HONMA, M.; HICKS, G. R.; WOLFF, K.; MATSUMURA, W.; DAVIES, J. P. Mutations in an auxin receptor homolog AFB5 and in SGT1b confer resistance to synthetic picolinate auxins and not to 2,4-dichlorophenoxyacetic acid or indole-3-acetic acid in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 142, n. 2, p. 542-552, ago. 2006.

YORINORI, J. T.; NUNES JUNIOR, J.; LAZZAROTTO, J. J. **Ferrugem "asiática" da soja no Brasil**: evolução, importância econômica e controle. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36 p. (Documentos, 247).

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. E.; GODOY, C. V.; NUNES JÚNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, [S. l.], v. 89, n. 6, p. 675-677, jun. 2005.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, [S. l.], v. 14, n. 6, p. 415-421, dez. 1974.

ZOBIOLE, L. H. S.; KALSING, A. Eficácia de misturas formuladas contendo halauxifen-methyl no controle de soja voluntária DAS-44406-6 (Enlist E3™). **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 16, n. 3, p. 192-197, jul./set. 2017.

ZOLLINGER, R. K.; HOWATT, K.; HAGERDON, D.; BERNARDS, M. Spring wheat (*Triticum aestivum*) response to simulated auxin herbicide contamination. **Weed Technology**, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 741-746, 2006.