

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

**RAYANI TAVARES SANTANA FERRAZ**

**SENSIBILIDADE DE CROTALARIA (*Crotalaria juncea*), GIRASSOL  
(*Helianthus annuus*) E FEIJÃO-DE-PORCO (*Canavalia ensiformis*) AO  
HERBICIDA TIAFENACIL**

**ARARAS**

**2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

**RAYANI TAVARES SANTANA FERRAZ**

**SENSIBILIDADE DE CROTALARIA (*Crotalaria juncea*), GIRASSOL  
(*Helianthus annuus*) E FEIJÃO-DE-PORCO (*Canavalia ensiformis*) AO  
HERBICIDA TIAFENACIL**

**Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Agrônômica da Universidade Federal de  
São Carlos – Campus Araras, como  
requisito parcial para a obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia  
Agrônômica, sob orientação da Prof.  
Dra. Patrícia Andrea Monquero.**

**ARARAS**

**2025**

*Aos meus familiares e amigos, que caminharam comigo até aqui.  
E, especialmente, ao meu pai que sonhou este momento antes mesmo de mim e lutou para que  
ele fosse possível. Hoje realizo não apenas o meu sonho, mas também o dele. Dedico este  
trabalho à sua memória, ao seu amor e à sua eterna presença em minha vida.  
Que ele possa se orgulhar, onde estiver.*

**RESUMO** - O efeito residual de herbicidas, conhecido como *carryover*, é um problema crítico na agricultura moderna, especialmente em sistemas que utilizam culturas de adubação verde. Este estudo teve como objetivo avaliar a sensibilidade de três espécies de adubo verde: *Crotalaria juncea*, girassol (*Helianthus annuus*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), ao herbicida tiafenacil, um inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PPO), quanto ao estabelecimento e ao desenvolvimento inicial das plantas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com aplicação de nove doses do herbicida (0, 15, 25, 50, 75, 100, 125, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>) e quatro repetições, sendo a dose comercial recomendada de 70 a 100 g i.a. ha<sup>-1</sup> dependendo do uso. Foram avaliadas a emergência das plântulas, a fitotoxicidade visual, a altura das plantas e a biomassa seca da parte aérea e das raízes. Os resultados demonstraram que o efeito residual do tiafenacil foi dependente da espécie e da dose aplicada, evidenciando elevada suscetibilidade das espécies avaliadas. *Crotalaria juncea* e *Helianthus annuus* apresentaram alta sensibilidade ao herbicida, com reduções acentuadas no crescimento e na biomassa, atingindo 100% de fitotoxicidade e morte total nas doses iguais ou superiores a 150 g ha<sup>-1</sup>. *Canavalia ensiformis* também se mostrou suscetível ao efeito residual do tiafenacil, apresentando sintomas de fitotoxicidade expressivos e redução do desenvolvimento, embora com respostas menos uniformes entre as doses avaliadas. Conclui-se que a aplicação de tiafenacil, mesmo em doses próximas à recomendada comercialmente, pode comprometer o estabelecimento de culturas de adubação verde em sucessão, sendo necessário cautela no manejo e no intervalo entre a aplicação do herbicida e o plantio dessas espécies.

Palavras-chave: *carryover*; adubo verde; PROTOX; fitotoxicidade; herbicida.

**ABSTRACT** - The residual effect of herbicides, known as carryover, is a critical issue in modern agriculture, especially in systems that include green manure crops. This study aimed to evaluate the sensitivity of three green manure species: *Crotalaria juncea*, sunflower (*Helianthus annuus*), and jack bean (*Canavalia ensiformis*), to the herbicide tiafenacil, a protoporphyrinogen oxidase (PPO) inhibitor, with respect to plant establishment and early development. The experiment was conducted under greenhouse conditions in a completely randomized design, with the application of nine herbicide doses (0, 15, 25, 50, 75, 100, 125, 150, and 200 g ha<sup>-1</sup>) and four replications. The commercially recommended dose ranges from 70 to 100 g a.i. ha<sup>-1</sup>, depending on the intended use. Seedling emergence, visual phytotoxicity, plant height, and shoot and root dry biomass were evaluated. The results showed that the residual effect of tiafenacil was dependent on both species and applied dose, indicating high susceptibility of the evaluated species. *Crotalaria juncea* and *Helianthus annuus* exhibited high sensitivity to the herbicide, with pronounced reductions in growth and biomass, reaching 100% phytotoxicity and complete plant death at doses equal to or greater than 150 g ha<sup>-1</sup>. *Canavalia ensiformis* was also susceptible to the residual effect of tiafenacil, showing marked phytotoxicity symptoms and reduced development, although with less uniform responses across the evaluated doses. It is concluded that the application of tiafenacil, even at doses close to those commercially recommended, may compromise the establishment of green manure crops grown in succession, highlighting the need for caution in management practices and in the interval between herbicide application and the planting of these species.

**Keywords:** carryover; green manure; PROTOX; phytotoxicity; herbicide.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>7</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>8</b>
<b>3. OBJETIVO.....</b>	<b>16</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O manejo de plantas daninhas é um dos desafios mais complexos da agricultura moderna, especialmente em sistemas de produção altamente tecnificados. O uso de herbicidas é a principal estratégia adotada para garantir altas produtividades e minimizar a competição das plantas espontâneas por água, luz e nutrientes (PARVEN *et al.*, 2024). No entanto, muitos desses herbicidas apresentam efeito residual no solo, o que pode impactar negativamente culturas subsequentes e culturas de entrelinha, incluindo aquelas utilizadas como adubos verdes.

O efeito residual dos herbicidas, também conhecido como *carryover*, ocorre quando um composto fitotóxico permanece no solo em concentrações suficientemente elevadas para afetar o crescimento de culturas subsequentes (GRINT *et al.*, 2022). Fatores como a solubilidade do composto, adsorção ao solo, tempo de meia-vida e condições edafoclimáticas interferem diretamente na persistência e na biodisponibilidade desses produtos (AVILA, 2024). Herbicidas pertencentes a determinados grupos químicos, como inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PPO), podem apresentar degradação relativamente rápida, mas ainda assim interferir no desenvolvimento de culturas sensíveis plantadas após sua aplicação (PATEL *et al.*, 2023).

O tiafenacil, um herbicida recentemente introduzido no mercado pela Ourofino Agrociência (TERRAD'OR 339 SC™), pertence ao grupo dos inibidores da PPO e tem sido utilizado principalmente para dessecação em pré-plantio e controle de plantas daninhas resistentes ao glifosato e outros herbicidas sistêmicos (EPA, 2023). De acordo com a literatura, o tiafenacil é classificado como um herbicida de contato não seletivo, utilizado para controle de uma ampla gama de plantas daninhas emergentes. A EPA destaca que o tiafenacil não possui atividade residual significativa contra plantas daninhas, devido à sua rápida degradação após a aplicação. Os inibidores da PPO atuam primariamente interrompendo a biossíntese da clorofila ao bloquear a oxidação do protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX nos cloroplastos. Como consequência, ocorre acúmulo de protoporfirina IX, um fotossensibilizador muito reativo, que, em presença de luz, gera espécies reativas de oxigênio (ROS). Essas ROS promovem peroxidação lipídica e rompimento das membranas celulares, levando à perda de integridade tecidual e morte da planta-alvo (BARKER *et al.*, 2023). Embora o tiafenacil tenha sido descrito como um herbicida de contato e ação rápida, sua persistência no solo e possíveis impactos sobre culturas subsequentes ainda não estão completamente esclarecidos, especialmente no contexto de adubação verde (SILVA, 2025).

O uso de adubos verdes, como espécies do gênero *Crotalaria* (*Crotalaria spp.*), girassol (*Helianthus annuus*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), tem ganhado destaque na agricultura sustentável devido aos múltiplos benefícios que proporcionam ao solo. A *Crotalaria juncea*, por exemplo, é reconhecida por sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio e pelo efeito supressor sobre nematoides fitoparasitas (ARONE *et al.*, 2024). O girassol, por sua vez, é uma espécie de rápido crescimento e eficiente na reciclagem de nutrientes, sendo amplamente utilizado em rotação de culturas e sistemas de cobertura do solo (GALAUP *et al.*, 2024). Segundo HERNÁNDEZ *et al.* (2022), o feijão-de-porco destaca-se pela sua rusticidade e alta produção de biomassa, além de contribuir para a melhoria da estrutura do solo e atuar na fixação biológica de nitrogênio, reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados. No entanto, ambas as culturas podem ser sensíveis à fitotoxicidade residual de herbicidas aplicados na safra anterior, o que pode comprometer seu estabelecimento e desenvolvimento inicial.

Estudos indicam que herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) podem afetar o desenvolvimento inicial de culturas, incluindo adubos verdes, dependendo da dose residual e das características físico-químicas do solo. Fatores como temperatura, irradiância e umidade relativa do ar influenciam a eficácia desses herbicidas, podendo resultar em efeitos fitotóxicos que comprometem a emergência e o crescimento inicial das plantas (MATZENBACHER *et al.*, 2014). Além disso, a aplicação de herbicidas inibidores da protox pode causar necrose foliar em plantas tratadas em pós-emergência, com sintomas iniciais de manchas verde-escuras nas folhas, o que pode impactar negativamente o estabelecimento de adubos verdes (CHRISTOFFOLETI; NICOLAI, 2016)

Assim, avaliar a persistência do tiafenacil no solo e seus efeitos sobre culturas como *Crotalaria juncea*, *Helianthus annuus* e *Canavalia ensiformis* é essencial para orientar recomendações agronômicas e mitigar possíveis impactos negativos em sistemas produtivos que integram adubação verde. Diante desse contexto, busca-se compreender a dinâmica desse herbicida no solo e suas implicações para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Manejo de plantas daninhas: do controle químico às práticas integradas**

O manejo de plantas e o uso de herbicidas em sistemas agrícolas são temas centrais para a sustentabilidade e produtividade no agronegócio. A adoção de práticas adequadas de manejo

de plantas daninhas é essencial para garantir a eficiência dos cultivos, reduzir perdas econômicas e minimizar impactos ambientais. As plantas daninhas competem com as culturas por recursos como água, luz e nutrientes, podendo reduzir significativamente a produtividade agrícola. Segundo ALBRECHT *et al.* (2024), o manejo integrado de plantas daninhas, que combina métodos culturais, mecânicos, biológicos e químicos, é a abordagem mais eficaz para o controle sustentável dessas espécies. A escolha das estratégias de manejo deve considerar as características da cultura, o tipo de solo, o clima e a biologia das plantas daninhas presentes.

O uso de herbicidas é uma das práticas mais difundidas no controle de plantas daninhas devido à sua eficiência e praticidade. Segundo dados do IBAMA, em 2023 foram vendidas 755.489 toneladas de agrotóxicos classificados como químicos e bioquímicos no Brasil, o que ressalta a enorme relevância econômica desse mercado (IBAMA, 2024). No entanto, o uso indiscriminado desses produtos pode levar ao desenvolvimento de resistência nas plantas daninhas, contaminação do solo e da água, e impactos negativos sobre a biodiversidade (MENEZES *et al.*, 2021). No Brasil, a repetida aplicação de herbicidas tem selecionado biótipos resistentes em diversas espécies de plantas daninhas, gerando desafios para o manejo e aumentando os custos de produção (EMBRAPA, 2018). De acordo com HEAP (2025), mais de 530 casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas foram registrados globalmente, destacando a necessidade de práticas de manejo que reduzam a dependência de produtos químicos. A rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação e a integração de métodos não químicos são estratégias recomendadas para mitigar esses problemas (NETTO; CHRISTOFFOLETI; BORGATO, 2020).

A adoção de sistemas de cultivo conservacionistas, como o plantio direto, tem sido uma alternativa promissora para o manejo de plantas daninhas. Esses sistemas promovem a cobertura do solo com palhada, o que reduz a emergência de plantas daninhas e melhora a retenção de umidade e a fertilidade do solo (ARAÚJO *et al.*, 2021). No entanto, a presença de palhada pode interferir na eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência ou com ação residual, uma vez que parte do produto pode ser interceptada e retida pelos resíduos vegetais, reduzindo sua quantidade efetivamente disponível no solo. Além disso, a palhada pode adsorver moléculas do herbicida e retardar sua lixiviação para a camada superficial do solo, afetando a distribuição, a persistência e a atividade biológica do produto, o que pode exigir ajustes na dose e no momento de aplicação (SILVA *et al.*, 2022). Além disso, a diversificação de culturas em rotação ou consórcio tem se mostrado eficaz no controle de plantas daninhas, pois quebra o

ciclo de desenvolvimento dessas espécies e reduz a pressão de seleção para resistência a herbicidas (GAZZIERO *et al.*, 2016).

A biotecnologia também tem contribuído para o manejo de plantas daninhas, com o desenvolvimento de culturas geneticamente modificadas resistentes a herbicidas. Essas culturas permitem a aplicação de herbicidas em estágios avançados de desenvolvimento das plantas daninhas, sem causar danos à cultura principal. No entanto, o uso contínuo de culturas resistentes a herbicidas, como a soja *Roundup Ready* (RR), tem sido associado ao aumento da resistência de plantas daninhas ao glifosato, um dos herbicidas mais utilizados no mundo. No Brasil, a adoção massiva de cultivares resistentes desde meados dos anos 2000 gerou uma intensa pressão de seleção, com o surgimento e disseminação de biótipos resistentes tanto em soja quanto em milho (ADEGAS *et al.*, 2022). Além disso, esse fenômeno tem provocado mudanças no mercado de defensivos, já que produtores recorrem a herbicidas alternativos (como 2,4-D, glufosinato e outros) para contornar a perda de eficiência do glifosato (PROCÓPIO *et al.*, 2024). Portanto, é fundamental adotar estratégias de manejo que combinem o uso de cultivares resistentes com outras práticas de controle, como rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, aplicação de herbicidas complementares e integração com controles culturais.

Por fim, a educação e a capacitação dos agricultores são elementos-chave para o sucesso desse manejo. A adoção de boas práticas agrícolas, como a aplicação correta de herbicidas, o monitoramento constante das áreas cultivadas e a identificação precoce de resistência, pode reduzir os custos de produção e os impactos ambientais. A disseminação de informações técnicas atualizadas é essencial para promover a adoção de práticas sustentáveis (CORREIA; STREK, 2023).

## **2.2. Efeito residual de herbicidas (Carryover)**

O efeito residual de herbicidas, também conhecido como *carryover*, é um fenômeno que ocorre quando resíduos de herbicidas aplicados em uma safra persistem no solo e afetam negativamente culturas subsequentes (PALHARANI *et al.*, 2023). Esse efeito pode causar fitotoxicidade, redução do crescimento e até a morte de espécies sensíveis, como as utilizadas como adubo verde (PALHANO *et al.*, 2018). A persistência de herbicidas no solo depende de fatores como as propriedades físico-químicas do produto, as condições ambientais (umidade, temperatura e pH do solo) e as práticas de manejo adotadas (AVILA *et al.*, 2024). Herbicidas com maior persistência, como os do grupo das sulfonilureias e imidazolinonas, são frequentemente associados a casos de *carryover*, especialmente em regiões com baixa

precipitação pluviométrica, onde a degradação microbiana e a lixiviação são reduzidas (PUCCI, 2020).

Estudos realizados com herbicidas das famílias das sulfonilureias e imidazolinonas demonstram que o efeito residual (*carryover*) pode variar substancialmente entre espécies utilizadas como adubos verdes, influenciando tanto a emergência quanto o crescimento inicial das plantas. GAZZIERO *et al.* (2016) observaram que a crotalária apresenta maior tolerância a resíduos de herbicidas do que o nabo-forageiro, que se destaca como uma das espécies mais sensíveis dentro dos sistemas de rotação. Essa diferença de sensibilidade está relacionada principalmente ao modo de ação desses herbicidas, que inibem a enzima ALS/AHAS, de modo que pequenas quantidades remanescentes no solo já são suficientes para causar danos em espécies suscetíveis.

Pesquisas mais recentes reforçam essa variabilidade entre grupos botânicos. Brassicaceae como nabo-forageiro, mostarda e colza têm sido frequentemente identificadas como altamente vulneráveis ao *carryover* de imidazolinonas e sulfonilureias, apresentando sintomas como clorose, encurtamento de raízes e redução significativa de biomassa mesmo em concentrações residuais baixas (RECTOR *et al.*, 2020). Leguminosas de cobertura também podem apresentar sensibilidade elevada, como relatado para trevos e ervilhas de inverno, enquanto outras, como a ervilhaca e algumas espécies de Crotalaria, tendem a manifestar maior tolerância dependendo das condições de solo e clima. Em contrapartida, gramíneas como aveia, centeio e azevém são descritas como relativamente tolerantes ao *carryover*, sendo frequentemente recomendadas quando há histórico de uso dessas moléculas na safra anterior.

Além da sensibilidade intrínseca de cada espécie, a persistência do herbicida no solo depende de fatores como umidade, temperatura, pH, teor de matéria orgânica, textura, atividade microbiana e características físico-químicas do ingrediente ativo, como solubilidade, sorção e meia-vida. Herbicidas com maior adsorção em solos argilosos podem persistir por períodos mais longos, enquanto solos arenosos e com baixa matéria orgânica tendem a ampliar o risco de fitotoxicidade devido à maior fração biodisponível. Condições de estiagem prolongada após a aplicação também reduzem a degradação microbiana, favorecendo a permanência do produto no ambiente e aumentando a probabilidade de danos às culturas subsequentes (ROSE *et al.*, 2022).

Como consequência, a escolha da espécie de adubo verde deve levar em conta tanto o histórico de herbicidas utilizados quanto a sensibilidade conhecida das plantas de cobertura. Diversos autores recomendam a realização de bioensaios simples com amostras de solo antes da semeadura, especialmente quando há suspeita de persistência prolongada de sulfonilureias ou imidazolinonas. Esses testes permitem detectar atividade residual de forma prática e reduzir o risco de perdas de estabelecimento do adubo verde (SHANER; BECKIE, 2014). Assim, compreender a variabilidade de sensibilidade entre espécies e os fatores que afetam a persistência do herbicida no solo é fundamental para um manejo seguro e eficiente das plantas de cobertura dentro dos sistemas agrícolas (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2020).

A dinâmica dos herbicidas no solo é influenciada por processos como adsorção, lixiviação, volatilização e degradação. A adsorção, por exemplo, é afetada pelo teor de matéria orgânica e argila no solo, enquanto a degradação depende da atividade microbiana e de reações químicas como a hidrólise (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Herbicidas com alta adsorção ao solo, como a atrazina, tendem a ter menor mobilidade, mas maior persistência, aumentando o risco de *carryover*. Por outro lado, herbicidas mais solúveis em água, como o 2,4-D, podem ser lixiviados para camadas mais profundas do solo, onde podem permanecer ativos e afetar culturas sensíveis (SILVA, 2020).

O pH do solo é outro fator crítico que influencia a persistência de herbicidas. Em solos ácidos, herbicidas como as sulfonilureias podem ter sua degradação retardada, aumentando o risco de *carryover*. Isso ocorre porque a hidrólise, principal mecanismo de degradação desses herbicidas, é menos eficiente em pH baixo (SCHREIBER *et al.*, 2018). Além disso, a atividade microbiana, essencial para a degradação de muitos herbicidas, é reduzida em solos ácidos ou com baixa fertilidade, prolongando a persistência desses produtos no ambiente (MONQUERO *et al.*, 2022).

As condições climáticas também desempenham um papel crucial no efeito residual de herbicidas. Períodos de seca prolongada podem reduzir a degradação microbiana e a lixiviação, aumentando a persistência de herbicidas no solo. Por outro lado, chuvas intensas podem favorecer a lixiviação de herbicidas para camadas mais profundas do solo, onde podem permanecer ativos e afetar culturas subsequentes (MONQUERO *et al.*, 2012). Em regiões tropicais, como o Brasil, a alta umidade e temperatura geralmente aceleram a degradação de herbicidas, mas em condições de estresse hídrico, o risco de *carryover* pode ser significativo (GAZZIERO *et al.*, 2016).

O manejo adequado do solo e a escolha de herbicidas com menor persistência são estratégias essenciais para mitigar o efeito residual. A rotação de culturas, por exemplo, pode reduzir o risco de carryover, especialmente quando são utilizadas culturas tolerantes aos herbicidas aplicados anteriormente (MELO *et. al.*, 2016). Além disso, o monitoramento do pH do solo e a correção com calcário podem acelerar a degradação de herbicidas sensíveis ao pH, como as sulfonilureias. A aplicação de doses recomendadas e o respeito ao intervalo de segurança entre a aplicação e o plantio da cultura subsequente também são práticas fundamentais para minimizar o risco de fitotoxicidade.

Uma das soluções para o problema do carryover é o desenvolvimento de culturas tolerantes a herbicidas específicos. Por exemplo, culturas de soja e milho geneticamente modificadas para tolerar herbicidas como o glifosato e o glufosinato de amônio permitem o controle eficiente de plantas daninhas sem o risco de danos à cultura principal (FRANZONI, 2018). No entanto, o uso contínuo dessas tecnologias pode levar ao desenvolvimento de resistência em plantas daninhas, exigindo a adoção de práticas de manejo integrado para garantir sua sustentabilidade (HEAP, 2025).

Em suma, o efeito residual de herbicidas é um desafio complexo que requer abordagens integradas, considerando fatores ambientais, de manejo e tecnológicos para garantir a sustentabilidade sistemas agrícolas.

### **2.3. Características do herbicida tiafenacil**

O tiafenacil é um herbicida pertencente ao grupo químico das uracilas, classificado como inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PPO), enquadrado no Grupo 14 (WSSA)/Grupo E (HRAC). Trata-se de um herbicida de ação predominantemente de contato, rapidamente absorvido pelos tecidos verdes das plantas, onde interfere diretamente na biossíntese da clorofila. A inibição da PPO resulta no acúmulo de protoporfirina IX, um composto altamente fotossensível que, na presença de luz, promove a formação de espécies reativas de oxigênio, levando à peroxidação lipídica, ruptura das membranas celulares e necrose dos tecidos vegetais (PARK *et al.*, 2018; WESTERVELD *et al.*, 2021).

Sob o ponto de vista físico-químico, conforme descrito em bula, o tiafenacil apresenta baixa pressão de vapor, indicando baixo potencial de volatilização, além de solubilidade moderada em água e coeficiente de partição octanol/água que indica mobilidade moderada no solo. Essas características favorecem sua permanência nas camadas superficiais do solo e reduzem o risco de perdas por volatilização, influenciando diretamente sua dinâmica ambiental após a aplicação (FMC, 2019).

O comportamento do tiafenacil no solo é fortemente influenciado por fatores como umidade, teor de matéria orgânica, textura e pH do solo. De acordo com informações técnicas de bula, o herbicida apresenta rápida degradação no solo, principalmente associada à atividade microbiana, sendo considerado de baixa persistência ambiental. Em solos com maior teor de matéria orgânica, ocorre maior adsorção do produto, o que pode reduzir sua mobilidade. Em contrapartida, em solos mais arenosos e com menor teor de matéria orgânica, a dissipação tende a ser mais rápida, especialmente sob condições de adequada umidade (FMC, 2019; TAKESHITA *et al.*, 2019). A combinação dessas características contribui para um baixo potencial de lixiviação, reduzindo o risco de contaminação de águas subterrâneas.

Quanto ao período de carência e intervalo para o plantio de culturas subsequentes, a bula do tiafenacil estabelece que estes variam de acordo com a cultura, a dose aplicada e o sistema de manejo, devendo ser rigorosamente respeitados. Em aplicações realizadas em pré-plantio ou dessecação, o herbicida possibilita o controle eficiente das plantas daninhas emergidas, permitindo o estabelecimento da cultura seguinte sem interferências significativas, desde que observados os intervalos recomendados em rótulo e bula (FMC, 2019; EPA, 2023). Essa característica torna o tiafenacil uma ferramenta importante em sistemas de plantio direto e no manejo integrado de plantas daninhas.

Apesar de sua rápida degradação, estudos recentes indicam que resíduos temporários do tiafenacil podem permanecer no solo por curto período e afetar o estabelecimento inicial de culturas sensíveis, especialmente sob condições de baixa umidade e temperaturas amenas, que reduzem a atividade microbiana responsável por sua degradação. Dessa forma, o planejamento da aplicação deve considerar as condições ambientais e a sucessão de culturas, a fim de evitar possíveis efeitos residuais indesejáveis (PARK *et al.*, 2018).

A interação do tiafenacil com outros herbicidas também tem sido avaliada como estratégia para o manejo sustentável de plantas daninhas. A utilização do produto em misturas ou programas de rotação com herbicidas de diferentes mecanismos de ação pode ampliar o espectro de controle e contribuir para a redução da pressão de seleção por resistência, desde que a compatibilidade físico-química e agrônômica entre os produtos seja adequadamente avaliada (BARKER *et al.*, 2023).

#### **2.4. Adubação verde e culturas sensíveis ao efeito residual**

A adubação verde tem se destacado como uma estratégia essencial para a melhoria da qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O uso de plantas como crotalaria

(*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e girassol (*Helianthus annuus*) contribui para o aumento da matéria orgânica, fixação biológica de nitrogênio e redução da compactação do solo (CHERUBIN, 2022). Além disso, os adubos verdes promovem a diversificação do sistema radicular, aumentando a porosidade do solo e a infiltração de água. A decomposição da biomassa dessas espécies libera compostos orgânicos que estimulam a atividade microbiana, contribuindo para a formação de matéria orgânica estável no solo (LIMA FILHO *et al.*, 2015). Em sistemas de plantio direto, os adubos verdes são essenciais para a manutenção da cobertura do solo, reduzindo a incidência de plantas daninhas e a necessidade de herbicidas (MONQUERO *et al.*, 2009). No entanto, a sensibilidade dessas culturas ao efeito residual de herbicidas pode comprometer sua eficácia e adoção.

A persistência de herbicidas no solo pode afetar diretamente a germinação e o crescimento inicial das culturas de adubação verde. Estudos indicam que herbicidas inibidores da PPO, como o tiafenacil, causam redução da taxa de emergência em leguminosas, devido à sua ação sobre a membrana celular (SOLTANI *et al.*, 2021). Esse efeito pode ser exacerbado em solos com baixos teores de matéria orgânica, onde a adsorção do herbicida é reduzida.

As leguminosas utilizadas na adubação verde, como a *Crotalaria juncea*, são particularmente sensíveis a resíduos de herbicidas devido à sua fisiologia diferenciada. A exposição a doses subletais pode reduzir a nodulação e a atividade da nitrogenase, comprometendo a fixação biológica de nitrogênio e os benefícios agrônômicos esperados (PANIAGUA *et al.*, 2023). Dessa forma, a rotação de culturas deve ser planejada considerando o intervalo de reentrada seguro para cada herbicida utilizado.

Além da fitotoxicidade direta, estudos indicam que a aplicação de herbicidas pode alterar a composição da comunidade microbiana do solo, impactando a atividade enzimática e a mineralização da matéria orgânica (GALON *et al.*, 2014). Por exemplo, herbicidas como ametryn, trifloxysulfuron-sodium e sua combinação influenciaram a evolução do CO<sub>2</sub> do solo, o carbono da biomassa microbiana e o quociente metabólico, indicando alterações na atividade microbiana e na decomposição da matéria orgânica (TIRONI *et al.*, 2010).

Grande parte dos herbicidas aplicados não atinge a superfície alvo e acaba alcançando o solo, onde inicia processos de redistribuição e degradação. Esses processos podem afetar a microbiota do solo, interferindo na decomposição e mineralização da matéria orgânica, bem como na disponibilização de nutrientes (CORREIA, 2018). Testes de bioensaio têm sido amplamente utilizados para avaliar a presença de resíduos fitotóxicos antes da implantação de culturas sucessoras. Essa abordagem permite ajustes no sistema produtivo para minimizar impactos negativos e garantir a sustentabilidade da prática. (RODRIGUES *et al.*, 2022)

Portanto, compreender as interações entre herbicidas e culturas de adubação verde é essencial para um manejo eficiente. A adoção de práticas como a rotação de culturas, o ajuste da época de aplicação e a seleção de herbicidas de menor persistência pode garantir que os benefícios da adubação verde sejam plenamente aproveitados, sem comprometer a produtividade e a qualidade do solo.

### **3. OBJETIVO**

Avaliar a sensibilidade de espécies de adubo verde (*Crotalaria juncea*, *Helianthus annuus* e *Canavalia ensiformis*) ao herbicida tiafenacil, em diferentes doses, quanto ao estabelecimento e ao desenvolvimento inicial, com ênfase na emergência, fitotoxicidade e produção de biomassa.

### **4. METODOLOGIA**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada na Universidade Federal de São Carlos – Campus Araras (UFSCar), no mês de agosto de 2025. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial  $3 \times 9$ , correspondendo aos adubos verdes feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), crotalaria (*Crotalaria juncea*) e girassol (*Helianthus annuus*) e nove doses do herbicida tiafenacil (0, 15, 25, 50, 75, 100, 125, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições, totalizando 108 unidades experimentais. Sendo que a dose comercial costuma estar em torno de 70 – 100 g i.a. ha<sup>-1</sup> dependendo do uso.

As unidades experimentais consistiram em vasos de polietileno com capacidade de 5 L, preenchidos com solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2018), coletado na camada de 0–20 cm, seco ao ar, destorroado, peneirado e homogeneizado. A caracterização química do solo foi realizada pelo Laboratório de Solos da USP/FZEA, conforme detalhado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise química do solo utilizado no experimento.

	P Resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V
Solo	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>				mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%
Argiloso	13,7	32,4	5,43	2,8	88,4	23,2	28,3	<LQ	114,4	142,7	80

Análise realizada pelo Laboratório de Solos da USP/FZEA - Pirassununga, SP

A aplicação do herbicida tiafenacil (TERRAD'OR 339 SC™) foi realizada diretamente sobre os vasos, utilizando pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, com pressão constante de 2,0 bar, equipado com bico tipo leque plano (Teejet 110.02), calibrado para um volume de calda equivalente a 200 L ha<sup>-1</sup>, conforme recomendação técnica para simulação de aplicações em campo (SHIRATSUCHI *et al.*, 2002). As condições ambientais durante a aplicação foram monitoradas com estação meteorológica portátil, garantindo: umidade relativa do ar ≥ 60%, temperatura ≤ 30°C e velocidade do vento ≤ 5 km h<sup>-1</sup>.

Após a aplicação, os vasos foram irrigados diariamente (8 mm de água) para garantir o crescimento das plantas. A semeadura das espécies de adubo verde foi realizada no mesmo dia, com quatro sementes por vaso, a uma profundidade de 2 cm. O desbaste foi realizado aos 7 dias após a emergência (DAE), mantendo-se duas plantas por vaso.

As avaliações compreenderam: emergência das plântulas (até 7 DAS), fitotoxicidade visual (7, 14 e 21 DAE), altura das folhas (21 DAE) e biomassa seca da parte aérea e radicular (21 DAE). A fitotoxicidade foi estimada em escala percentual de 0% (ausência de injúria) a 100% (morte total), conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Escala de notas utilizada para avaliação visual de intoxicação das plantas pelo herbicida.

Conceito	Notas	Observação
Muito leve	0-5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, porém totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46-60	Danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61-100	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drástica no rendimento econômico. Nota 100 para morte de toda a cultura.

Adaptado de SBCPD (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ) e o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para comparação de médias entre espécies. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emergência das plântulas foi influenciada tanto pela espécie de adubo verde quanto pelas doses do herbicida tiafenacil aplicadas ao solo. Os valores médios de germinação encontram-se apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Percentual de germinação dos adubos verdes submetidos ao herbicida tiafenacil.

Doses de tiafenacil (g/ha <sup>-1</sup> )	Germinação dos adubos verdes (%)		
	<i>C. juncea</i>	<i>H. annuus</i>	<i>C. ensiformes</i>
0	100,00	100,00	58,50
15	100,00	100,00	75,00
25	94,44	91,66	58,50
50	94,44	94,44	66,75

75	88,89	97,22	66,75
100	86,11	100,00	83,25
125	94,44	97,22	24,75
150	86,11	97,22	91,75
200	75,00	86,11	83,55
<b>Teste F**</b>	1,540	1,254	1,749
<b>DMS (5%)</b>	50,69	20,82	71,30
<b>CV (%)</b>	23,40	9,24	44,29

Teste de Tukey a 5%. Nível de significância: \*\*:1%; \*: 5%. GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

De maneira geral, observou-se que *Crotalaria juncea* e *Helianthus annuus* apresentaram elevadas taxas de germinação, mantendo valores iguais ou superiores a 75% mesmo nas maiores doses testadas. A espécie demonstrou estabilidade quanto à emergência, indicando que, para ambas, o estágio inicial de desenvolvimento não foi significativamente limitado pela presença residual do herbicida, o que sugere que o tiafenacil não interferiu de forma pronunciada nos processos fisiológicos ligados à protrusão radicular e ao estabelecimento inicial. Resultados semelhantes foram descritos por SOLTANI *et al.* (2021), que relataram que inibidores de PPO tendem a afetar mais intensamente tecidos já expostos à luz após a emergência, exercendo impacto reduzido sobre a germinação em condições controladas.

No caso da *C. juncea*, embora as variações entre doses tenham sido pequenas (100% a 75%), notou-se discreta redução na dose máxima (200 g ha<sup>-1</sup>). Ainda assim, a germinação manteve-se dentro de padrões considerados aceitáveis para a espécie, evidenciando que o efeito fitotóxico inicial do herbicida se manifesta mais fortemente após a emergência, conforme observado nas demais variáveis avaliadas.

O girassol (*H. annuus*) também apresentou alta germinação (86% a 100%) em todas as doses, confirmando sua capacidade de emergência rápida e vigorosa mesmo sob condições adversas. Entretanto, como será discutido posteriormente na variável de fitotoxicidade, o desenvolvimento pós-emergência foi sensivelmente comprometido. Esse comportamento reforça a interpretação de que o tiafenacil apresenta baixa interferência sobre a germinação.

Por outro lado, *Canavalia ensiformis* apresentou maior variação entre as doses, com germinação variando de 24,75% a 91,75%. Os resultados de germinação indicam que o processo germinativo foi mais sensível ao resíduo do tiazifenacil, mostrando reduções expressivas nas doses de 0, 25 e especialmente 125 g ha<sup>-1</sup>. Essa oscilação pode estar associada a dormência da semente e a resposta metabólica inicial. PALHARANI *et al.* (2023) destacam que a variação na germinação sob efeito residual de herbicidas está relacionada à capacidade da semente em tolerar compostos fitotóxicos presentes em baixas concentrações antes da completa ativação dos mecanismos fisiológicos de defesa.

De modo geral, os resultados demonstram que o tiazifenacil exerceu influência limitada sobre o processo de germinação, especialmente para *Crotalaria juncea* e *Helianthus annuus*. Entretanto, *Canavalia ensiformis* apresentou maior sensibilidade nesta fase, sugerindo que o efeito residual do herbicida pode atuar de forma diferenciada entre espécies ainda no estágio germinativo. Esses achados são importantes para interpretações subsequentes, sobretudo para compreender a relação entre emergência e os sintomas de fitotoxicidade observados após a emergência das plântulas.

As análises de massa seca da parte aérea e radicular mostraram uma redução significativa com o aumento das doses do herbicida, evidenciando uma relação inversa entre a concentração de tiazifenacil e o acúmulo de biomassa (Tabela 4). Em *Crotalaria juncea*, a massa seca aérea variou de 0,68 g na testemunha para 0,00 g nas doses de 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>, comportamento acompanhado pela massa seca radicular, que também atingiu zero nessas doses. O mesmo padrão foi observado em *Helianthus annuus*, que apresentou diminuição progressiva da biomassa aérea, passando de 2,18 g (testemunha) para valores nulos nas doses mais altas. Já *Canavalia ensiformis* manteve médias superiores nas menores doses e na testemunha (7,78 g), embora tenha sofrido redução significativa em doses intermediárias, indicando maior tolerância relativa ao herbicida (Tabela 4). Os resultados obtidos permitem compreender o grau de sensibilidade de cada espécie ao efeito residual do herbicida e suas implicações para o manejo agrícola sustentável.

Esses resultados demonstram que o efeito residual do tiazifenacil é dependente da espécie e da dose aplicada. O comportamento de *Crotalaria juncea* e *Helianthus annuus* evidencia alta sensibilidade ao produto, enquanto *Canavalia ensiformis* apresentou resistência mais pronunciada, possivelmente associada a mecanismos fisiológicos de detoxificação ou compartimentalização do herbicida (GAO *et al.*, 2021).

**Tabela 4.** Massa seca da parte aérea e radicular dos adubos verdes submetidos ao herbicida tiafenacil.

<i>Massa seca da parte aérea (g)</i>			
Doses de tiafenacil (g ha <sup>-1</sup> )	<i>C. juncea</i>	<i>H. annuus</i>	<i>C. ensiformes</i>
0	0,68 abc	2,18 a	7,78 a
15	0,97 a	2,17 a	6,48 ab
25	0,63 abc	1,62 ab	3,15 abc
50	0,72 ab	1,41 abc	2,8 abc
75	0,28 bcd	0,90 abcd	0,73 c
100	0,13 cd	0,22 cd	2,8 abc
125	0,19 bcd	0,65 bcd	1,27 c
150	0,00 d	0,00 d	3,66 abc
200	0,00 d	0,21 cd	1,48 bc
<b>Teste F**</b>	9,978	9,268	4,839
<b>DMS (5%)</b>	0,55	1,31	5,12
<b>CV (%)</b>	58,07	53,04	64,21
<i>Massa seca das raízes (g)</i>			
Doses de tiafenacil (g ha <sup>-1</sup> )	<i>C. juncea</i>	<i>H. annuus</i>	<i>C. ensiformes</i>
0	0,28 ab	0,54 ab	1,83 a
15	0,49 a	0,67 a	1,21 ab
25	0,33 ab	0,51 abc	0,63 ab
50	0,39 ab	0,28 abc	0,67 ab
75	0,11 ab	0,30 abc	0,24 b
100	0,05 b	0,15 abc	0,52 b
125	0,12 ab	0,21 abc	0,33 b
150	0,00 b	0,00 c	0,84 b
200	0,00 b	0,07 bc	0,40 b
<b>Teste F**</b>	4,903	4,187	3,722
<b>DMS (5%)</b>	0,39	0,53	1,24
<b>CV (%)</b>	82,93	73,51	70,32

Teste de Tukey a 5%. Nível de significância: \*\*:1%; \*: 5%. GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

As respostas em altura das plantas acompanharam a tendência observada na biomassa. Em *Crotalaria juncea*, a altura média caiu de 8,75 cm na testemunha para 0 cm nas doses de 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>, revelando morte total das plântulas em doses elevadas. O girassol apresentou comportamento semelhante, com altura de 24,56 cm na testemunha e reduções drásticas acima de 100 g ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, *Canavalia ensiformis* demonstrou maior capacidade de crescimento sob exposição ao herbicida, mantendo valores médios mais altos em diversas doses, o que reforça sua maior tolerância (Tabela 5).

Esses resultados são coerentes com o modo de ação do tiafenacil, um herbicida de contato que promove a acumulação de protoporfirina IX nas células, causando peroxidação lipídica e destruição das membranas celulares (PARK *et al.*, 2018). Por ser um produto de ação rápida e dependente da luz, sua ação é mais evidente em tecidos expostos, o que explica o colapso do crescimento nas espécies mais sensíveis.

**Tabela 5.** Altura dos adubos verdes (cm) submetidos ao herbicida tiafenacil.

Doses de tiafenacil (g/ha <sup>-1</sup> )	Altura das plantas (cm)		
	<i>C. juncea</i>	<i>H. annuus</i>	<i>C. ensiformes</i>
0	8,75 a	24,56 a	21,5 a
15	5,32 a	23,37 a	21,5 a
25	8,50 a	21,31 ab	19,25 a
50	13,78 a	18,12 ab	17,50 a
75	8,00 a	17,44 ab	5,50 a
100	7,78 a	7,50 bc	17,13 a
125	0,00 a	10,25 abc	13,63 a
150	0,00 a	0,00 c	17,00 a
200	0,00 a	7,50 bc	12,37 a
<b>Teste F**</b>	1,476	7,068	1,821
<b>DMS (5%)</b>	19,06	15,17	17,83
<b>CV (%)</b>	138,31	44,11	46,38

Teste de Tukey a 5%. Nível de significância: \*\*:1%; \*: 5%. GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

As avaliações de fitotoxicidade reforçaram as diferenças entre as espécies quanto à sensibilidade ao herbicida. Em *Crotalaria juncea*, os sintomas visuais aumentaram progressivamente com o tempo e a dose. Aos 7 dias após a emergência (DAE), foram observados sintomas leves apenas em doses acima de 75 g ha<sup>-1</sup>, mas aos 14 DAE os índices já alcançaram 50% para essa dose e 97–100% para as doses de 100 g ha<sup>-1</sup> ou superiores. Aos 21 DAE, a fitotoxicidade atingiu 100% em quase todos os tratamentos acima de 100 g ha<sup>-1</sup>, confirmando o caráter letal do herbicida nessa espécie (Tabela 6).

Em *Helianthus annuus*, a fitotoxicidade também foi crescente, embora os sintomas tenham surgido em doses ligeiramente mais elevadas. Aos 7 DAE, as plantas permaneceram sem sintomas até 50 g ha<sup>-1</sup>, mas apresentaram 36,25% de dano em 75 g ha<sup>-1</sup> e morte total em 150 g ha<sup>-1</sup>. Aos 14 e 21 DAE, os níveis de injúria se estabilizaram entre 75% e 100% nas doses altas (Tabela 5). Já *Canavalia ensiformis* apresentou sintomas mais brandos e irregulares, com índices de até 20% aos 7 DAE e máximos de 74% aos 21 DAE, sem morte total das plantas (Tabela 5).

**Tabela 6.** Percentual de fitotoxicidade dos adubos verdes submetidos ao herbicida tiafenacil.

<i>Fitotoxicidade (%) - 7 DAE</i>			
Doses de tiafenacil (g ha <sup>-1</sup> )	<i>C. juncea</i>	<i>H. annuus</i>	<i>C. ensiformes</i>
0	0,00 a	0,00 a	0,00 a
15	0,50 a	0,00 a	0,00 a
25	0,00 a	0,00 a	2,50 ab
50	2,00 a	2,50 a	10,00 ab
75	6,50 ab	36,25 ab	10,00 ab
100	36,25 abc	73,00 bc	15,00 ab
125	42,50 bc	53,75 abc	3,75 ab
150	51,25 c	100,00 c	6,25 ab
200	60,00 c	72,50 bc	20,00 b
<b>Teste F**</b>	9,602	8,950	3,490
<b>DMS (5%)</b>	28,37	61,87	17,51
<b>CV (%)</b>	72,93	69,23	98,13
<i>14 DAE</i>			
Doses de tiafenacil (g ha <sup>-1</sup> )	<i>C. juncea</i>	<i>H. annuus</i>	<i>C. ensiformes</i>
0	0,00 a	0,00 a	0,00 a
15	2,75 a	0,00 a	0,00 a
25	5,25 a	5,00 ab	17,50 a
50	8,25 a	30,00 abc	35,00 a
75	50,00 b	51,25 bcd	77,50 a
100	97,50 c	75,00 cd	35,00 a
125	96,25 c	67,50 cd	56,25 a
150	100,00 c	100,00 d	33,75 a
200	100,00 c	82,50 d	47,50 a
<b>Teste F**</b>	344,489	13,949	1,930
<b>DMS (5%)</b>	12,11	48,83	86,97
<b>CV (%)</b>	9,96	44,91	108,73
<i>21 DAE</i>			
Doses de tiafenacil (g ha <sup>-1</sup> )	<i>C. juncea</i>	<i>H. annuus</i>	<i>C. ensiformes</i>
0	0,00 a	0,00 a	0,00 a

15	5,00 a	0,00 a	0,00 a
25	5,75 a	6,25 a	27,50 a
50	8,75 a	30,00 ab	35,00 a
75	50,00 b	51,25 bc	78,75 a
100	97,50 c	80,00 cd	41,25 a
125	96,25 c	70,00 bcd	56,25 a
150	100,00 c	100,00 d	41,25 a
200	100,00 c	87,50 cd	73,75 a
<b>Teste F**</b>	340,979	17,488	2,461
<b>DMS (5%)</b>	12,07	44,90	85,03
<b>CV (%)</b>	9,86	39,96	90,9

Teste de Tukey a 5%. Nível de significância: \*\*:1%; \*: 5%. GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

A análise conjunta dos dados permite estabelecer uma ordem de sensibilidade das espécies ao tiafenacil: *Crotalaria juncea* > *Helianthus annuus* > *Canavalia ensiformis*, sendo esta última a menos sensível. A fitotoxicidade observada pode estar relacionada ao modo de ação dos inibidores da enzima PROTOX, que interferem no metabolismo normal do porfirinogênio e podem levar à produção de espécies reativas de oxigênio, danificando membranas e tecidos. Estudos com soja mostram que herbicidas PROTOX como carfentrazone e lactofen provocam redução de altura e injúrias nas plantas (GALLON *et al.*, 2016). Por outro lado, a persistência desses herbicidas no solo também é um fator relevante. Em trabalho de fitorremediação com sulfentrazone e fomesafen, WINTER (2016) observou efeitos fitotóxicos em espécies testadas, destacando a capacidade das moléculas de permanecerem no ambiente por tempo suficiente para prejudicar plantas sucessoras.

Além disso, ao trabalhar com espécies com potencial para fitorremediação, ALVES (2019) demonstrou que algumas plantas ativam enzimas antioxidantes e apresentam peroxidação lipídica quando expostas aos herbicidas fomesafen e sulfentrazone, indicando que mecanismos de tolerância biológica associados à defesa antioxidante podem ser relevantes. Essas respostas estão frequentemente relacionadas à atuação de sistemas enzimáticos de detoxificação, como as glutathione S-transferases (GSTs), que catalisam a conjugação de moléculas de herbicidas ou de seus metabólitos reativos com a glutathione, reduzindo sua toxicidade e facilitando sua compartimentalização ou degradação celular. Diante disso, as evidências sugerem que a tolerância observada em *Canavalia ensiformis* pode envolver respostas fisiológicas complexas, embora ainda seja necessário investigar especificamente a presença e a atividade de flavonoides, GSTs ou outros metabólitos associados à detoxificação nessa espécie.

Do ponto de vista prático, esses resultados reforçam a necessidade de considerar não apenas a dose aplicada, mas também o tempo entre aplicação de tiafenacil e plantio subsequente, especialmente em sistemas de adubação verde. A utilização de espécies tolerantes pode ser uma estratégia para mitigar os riscos associados ao *carryover*, assim como o monitoramento da persistência e o planejamento de rotação/cobertura de solo.

Os resultados obtidos são coerentes com evidências já descritas na literatura para herbicidas inibidores da PROTOX, que apresentam variação de sensibilidade entre espécies e mesmo entre cultivares, frequentemente associada a diferenças nos mecanismos de detoxificação e metabolismo (BRUSAMARELLO, 2019). Embora os estudos sobre persistência no solo e efeitos residuais desses herbicidas sejam mais restritos, há registros de fitotoxicidade residual em determinadas situações, especialmente para moléculas como fomesafen e sulfentrazone (ALVES, 2019). Esses comportamentos estão ligados ao modo de ação da PROTOX, que promove acúmulo de espécies reativas de oxigênio e peroxidação de membranas, resultando em danos celulares em espécies sensíveis (EMBRAPA, 2008).

A integração dos dados de germinação, crescimento e fitotoxicidade evidencia que o principal impacto do tiafenacil ocorre na fase pós-emergência, comprometendo a expansão foliar e a produção de biomassa, mais do que a germinação propriamente dita. Esse resultado tem implicações práticas importantes para o manejo de coberturas verdes e a rotação de culturas.

Em sistemas de produção que utilizam adubos verdes como *Crotalaria juncea* e *Helianthus annuus*, recomenda-se evitar o plantio imediato após a aplicação de tiafenacil, especialmente em solos de baixa matéria orgânica, onde a degradação do herbicida pode ser mais lenta. Por outro lado, *Canavalia ensiformis* se apresenta como alternativa promissora para cultivo em sucessão, devido à sua maior tolerância e capacidade de crescimento mesmo sob altas doses residuais.

Essas informações contribuem para o entendimento da seletividade do tiafenacil e auxiliam na tomada de decisão sobre a escolha de espécies para adubação verde em áreas com histórico de aplicação de herbicidas PPO-inibidores. Recomenda-se, entretanto, a realização de ensaios complementares em condições de campo, com análise de parâmetros de solo (pH, teor de matéria orgânica e umidade), visando validar os resultados obtidos em casa de vegetação e estabelecer períodos de segurança adequados para o replantio de espécies sensíveis.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que, em áreas onde o tiafenacil foi aplicado recentemente, deve-se evitar o plantio imediato de espécies sensíveis como *Crotalaria juncea* e *Helianthus annuus*. Em contrapartida, *Canavalia ensiformis* se destaca como espécie mais tolerante, podendo ser alternativa para cultivo em sucessão, desde que respeitado o período de carência e observadas as condições do solo que influenciam a persistência do herbicida. Essas informações são úteis para o manejo de cobertura verde e rotação de culturas, especialmente em sistemas que utilizam herbicidas PPO-inibidores.

## 7. REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S.; SILVA, N. M.; CONCENÇO, A. F.; GAZZIERO, D. L. P.; DALAZEN, G. et al. Glyphosate-Resistant (GR) soybean and corn in Brazil: Past, present, and future. *Advances in Weed Science*, v. 40, p. 1-15, 2022. DOI: 10.51694/AdvWeedSci/2022;40:seventy-five004. Disponível em: <https://awsjournal.org/article/glyphosate-resistant-gr-soybean-and-corn-in-brazil-past-present-and-future/>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- AIT KACI AHMED, N., GALAUP, B., DESPLANQUES, J., DECHAMP-GUILLAUME, G., SEASSAU, C.. Ecosystem Services Provided by Cover Crops and Biofumigation in Sunflower Cultivation. *Agronomy*; 12(1):120; 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12010120>.
- ALBRECHT, A. J. P. et al. **Manejo integrado e sustentável de plantas daninhas**. Curitiba: SENAR AR/PR, 2024. 204 p. Livro eletrônico. ISBN 978-85-7565-229-9. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2025/02/PR.0379-Manejo-integrado-e-sustentavel-de-plantas-daninhas.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- ALVES, C. P. **Seleção de espécies com potencial para fitorremediação de solo contaminado com herbicidas inibidores da PROTOX**. 2019. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/1540>. Acesso em: 24 nov. 2025.
- ARAÚJO, F. C. de; NASCENTE, A. S.; GUIMARÃES, J. L. N.; SOUSA, V. S.; FREITAS, M. A. M. de; SANTOS, F. L. de S. Cover crops in the off-season in the weed management at no-tillage area. Embrapa, 2021.
- ARONE, G. J., OCAÑA, R., SÁNCHEZ, A., VILLADAS, P. J., & FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.. Benefits of *Crotalaria juncea* L. as Green Manure in Fertility and Soil Microorganisms on the Peruvian Coast. *Microorganisms*, 12(11), 2241, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12112241>.
- ÁVILA, L. A.; ZEMOLIN, C. R.; FIPKE, M. V.; CASSOL, G. V.; CASSOL, L. L.; CASSOL, A. P. V.; ZANELLA, R.; CAMARGO, E. R. Persistence of S-metolachlor in the soil as affected by moisture content. *Advances in Weed Science*, v. 42, e020240042, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2024;42:00007>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- BARKER, A. L.; PAWLAK, J.; DUKE, S. O.; BEFFA, R.; TRANEL, P. J.; WUERFFEL, J.; YOUNG, B.; PORRI, A.; LIEBL, R.; APONTE, R.; FINDLEY, D.; BETZ, M.; LERCHL, J.; CULPEPPER, S.; BRADLEY, K.; DAYAN, F. E. Discovery, mode of action, resistance mechanisms, and plan of action for sustainable use of Group 14 herbicides. *Weed Science*, Cambridge, v. 71, n. 3, p. 173–188, 2023. DOI: 10.1017/wsc.2023.15. Disponível em: <https://www.cambridge.org>. Acesso em: 16 dez. 2025.
- BEDMAR, F.; GIANELLI, V. Comportamiento de los herbicidas en el suelo. In: FERNÁNDEZ, O. A.; LEGUIZAMÓN, E. S.; ACCIARESI, H. A. (ed.). **Malezas e invasoras de la Argentina: ecología y manejo**. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Ediuns, 2014. v. 1, cap. 14, p. 361-390.

BRUSAMARELLO, A. P. T. **Tolerância de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) aos herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4514>. Acesso em: 24 nov. 2025.

CHERUBIN, M. R. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2022. Disponível em: [www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/782](http://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/782). Acesso em: 17 nov. 2025.

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

CORREIA, N. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2018. (Documentos, 160). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1099141/1/DOC160.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.

CORREIA, N. M.; STREK, H. J. Resistência de plantas daninhas a herbicidas: manejo e situação atual. In: COSTA, L. L.; LEÃO-ARAÚJO, E. F. (org.). **Tecnologia de aplicação de caldas fitossanitárias**. 2. ed. Morrinhos: Instituto Federal Goiano, 2023. p. 63–80.

DALAZEN, G.; KRUSE, N. D.; MACHADO, S. L. O.; BALBINOT, A. Sinergismo na combinação de glifosato e saflufenacil para o controle de buva. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 249–256, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/33708>. Acesso em: 20 ago. 2025.

DUKE, S. O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? **Pest Management Science**, v. 68, n. 4, p. 505–512, 2011.

EMBRAPA. Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil: histórico, distribuição, impacto econômico, manejo e prevenção. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMBRAPA. **Seletividade de herbicidas na cultura do milho**. Circular Técnica 98. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490989/1/Circ98.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2025.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

EPA. **Tiafenacil 339SC Herbicide Label**. Washington, D. C.: EPA, 2023. Disponível em: [https://www3.epa.gov/pesticides/chem\\_search/ppls/071512-00037-20230329.pdf](https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ppls/071512-00037-20230329.pdf). Acesso em: 05 ago. 2025.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FMC. **Tiafenacil: Technical Manual**. Filadélfia, PA: FMC Agricultural Solutions, 2019.

FRANZONI, M. M. **Aspectos do glufosinato de amônio como principal ferramenta de controle no manejo de plantas daninhas na soja**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-25072018-171606/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

GALON, L. et al. Efeito de herbicidas na atividade microbiana do solo cultivado com diferentes genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 1, p. 47–57, 2014. Disponível em: <https://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/253>. Acesso em: 17 nov. 2025.

GALLON, M. et al. Ação de herbicidas inibidores da PROTOX sobre o desenvolvimento, acamamento e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 3, p. 269–276, 2016. DOI: 10.7824/rbh.v15i3.471.

GAO, M.; BIAN, C.; ZHOU, W. et al. Dissipation of tiafenacil in five types of citrus orchard soils using the HPLC-MS coupled with the quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe method. **Journal of Separation Science**, v. 44, n. 9, p. 1950–1960, 2021.

GAZZIERO, D. L. P. et al. **Rotação de culturas e manejo de plantas daninhas**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 20 ago. 2025.

GRINT, K. R.; BRADLEY, K. W.; TRANEL, P. J.; CULPEPPER, S. A.; STECKEL, L. E.; JOHNSON, W. G. Low carryover risk of corn and soybean herbicides across soil management practices and environments. **Weed Technology**, v. 36, n. 1, p. 160–167, 2022. DOI: 10.1017/wet.2021.97. Disponível em: <https://bioone.org>. Acesso em: 15 dez. 2025.

HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. Disponível em: [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org). Acesso em: 20 ago. 2025.

HONG, S.-J. et al. Anti-Inflammatory Activity of Cajanin, an Isoflavonoid Derivative Isolated from *Canavalia lineata* Pods. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 16, p. 9492, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23169492>. Acesso em: 03 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Relatório de comercialização de agrotóxicos — Boletim 2023**. Brasília: IBAMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 03 out. 2025.

LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática: volume 2**. Brasília, DF: Embrapa, 2023.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo (Carryover). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151–164, 2011.

MATZENBACHER, F. O. et al. Environmental and physiological factors that affect the efficacy of herbicides that inhibit the enzyme protoporphyrinogen oxidase: a literature review. **Planta Daninha**, v. 32, n. 2, p. 457–463, 2014.

MELO, C. A. D. et al. Carryover de herbicidas em sistemas cultivados com olerícolas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 67-78, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.7824/rbh.v15i1.434>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MENEZES, J. F. de F.; SANTOS, J. V. P.; TAVARES, M. G.; GUIMARÃES, H. A. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos: análise dos impactos causados na saúde humana e ambiental. **Biológicas & Saúde**, v. 19, n. 1, p. 65-75, 2021. DOI: 10.25242/8868113720212259.

MONQUERO, P. A. et al. Efeito de adubos verdes na supressão de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 85–95, 2009.

MONQUERO, P. A.; REIS, F. C. dos; MUNHOZ, W. S.; HIRATA, A. C. da S.; MENEGHIN, S. P. Solo cultivado com cana-de-açúcar: persistência e impacto de herbicidas na microbiota no solo. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 3, p. 380-387, 2022. DOI: 10.5039/agraria.v7i3a1169. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v7i3a1169>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MONQUERO, P. A.; SAABAG, R.; ORZARI, I.; HIJANO, N.; GALVANI FILHO, M.; DALLACOSTA, V.; KROLIKOWSKI, V.; HIRATA, A. C. S. Lixiviação de saflufenacil e residual após períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 415–423, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000200022>. Acesso em: 18 ago. 2025.

NETTO, A. G.; BORGATO, E. A.; FRANZONI, M. M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de daninhas resistentes em soja. **Revista Cultivar**, 22 jun. 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/manejo-de-daninhas-resistentes-em-soja>. Acesso em: 17 nov. 2025.

OLIVEIRA JR., R. S. et al. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011.

PALHANO, M. G.; NORSWORTHY, J. K.; BARDER, T. Sensitivity and Likelihood of Residual Herbicide Carryover to Cover Crops. **Weed Technology**, v. 32, n. 3, p. 236-243, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.7>. Acesso em: 17 nov. 2025.

PALHARANI, W.; MAUAD, M.; SILVA, P. V.; MEDEIROS, E. S.; SCHEDENFFELDT, B. F.; MEDEIROS, C. C. B. Management of *Digitaria insularis* in soybean pre-sowing desiccation by ACCase alternative herbicides and its impact on soybean carryover. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 58, n. 2, p. 110–119, 2023. DOI: 10.1080/03601234.2023.2172279. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36708180/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

PANIAGUA-LÓPEZ, M.; JIMENÉZ PELAYO, C.; GÓMEZ-FERNÁNDEZ, G. O.; HERRERA-CERVERA, J. A.; LÓPEZ-GÓMEZ, M. Reduction in the Use of Some Herbicides Favors Nitrogen Fixation Efficiency in *Phaseolus vulgaris* and *Medicago sativa*. **Plants (Basel)**, v. 12, n. 8, p. 1608, 2023. DOI: 10.3390/plants12081608. Acesso em: 25 ago. 2025.

PARK, J.; AHN, Y. O.; NAM, J. W.; HONG, M.-K.; SONG, N.; KIM, T.; YU, G. H.; SUNG, S. K. Biochemical and physiological mode of action of tiafenacil, a new protoporphyrinogen

IX oxidase-inhibiting herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 152, p. 38-44, 2018. DOI: 10.1016/j.pestbp.2018.08.010.

PARVEN, A.; MEFTAUL, I. M.; VENKATESWARLU, K.; MEGHARAJ, M. Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 22, p. 1181–1202, 2025. DOI: 10.1007/s13762-024-05818-y. Disponível em: <https://link.springer.com>. Acesso em: 16 dez. 2025.

PATEL, F. et al. The straw presence preceding soybean crop increases the persistence of residual herbicides. **Advances in Weed Science**, v. 41, p. e020200051, 2023.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35–40, 2004.

PROCÓPIO, S. de O.; BARIZON, R. R. M.; PAZIANOTTO, R. A. A.; MORANDI, M. A. B.; BRAZ, G. B. P. Impacts of Weed Resistance to Glyphosate on Herbicide Commercialization in Brazil. **Agriculture**, v. 14, n. 12, p. 2315, 2024. DOI: 10.3390/agriculture14122315. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/12/2315>. Acesso em: 20 ago. 2025.

PUCCI, L. P. **Lixiviação, efeito residual e carryover de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas em condições de clima tropical e temperado: meta análise e pesquisa de literatura**. 2020. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2020. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/29168>. Acesso em: 20 ago. 2025.

RECTOR, L. S.; PITTMAN, K. B.; BEAM, S. C. et al. Herbicide carryover to various fall-planted cover crop species. **Weed Technology**, v. 34, n. 1, p. 25-34, 2020. DOI: 10.1017/wet.2019.79.

RODRIGUES, M. D. et al. Detecção de resíduo biodisponível de S-Metolachlor no solo pelo método de bioensaio. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 20, n. 1, 2022. Disponível em: <https://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/723>. Acesso em: 25 abr. 2025.

ROSE, M. T.; ZHANG, P.; ROSE, T. J.; SCANLAN, C. A.; McGRATH, G.; VAN ZWIETEN, L. Herbicide residues in Australian grain cropping soils at sowing and their relevance to crop growth. **Science of the Total Environment**, v. 833, p. 155105, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155105.

SHANER, D. L.; BECKIE, H. J. The future for weed control and technology. **Weed Science**, v. 62, n. 2, p. 275–285, 2014. DOI: 10.1614/WS-D-13-00117.1. Disponível em: <https://www.cambridge.org>. Acesso em: 15 dez. 2025.

SCHREIBER, F.; ANDRESS, A.; CONSENÇO, G. Métodos experimentais para avaliação do comportamento dos herbicidas no solo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 71-85, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v17i1.540>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SHIRATSUCHI, L.; ROBERTO, J.; FONTES, A. **Documentos 78**. [S.l: s.n.], [2010]. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/568534/1/doc78.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2025.

SILVA, A. J. **Dinâmica, metabolismo e ação de tiafenacil em plantas**. 2025. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2025.

SILVA, E. M. G. da. **Sorção e persistência do 2,4-D em horizontes de um Argissolo Vermelho-Amarelo**. 2020. 59 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28942>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SILVA, G. B. F. da; LIMA, A. A. de; NOSOLINE, S. M.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Seleção de Inoculante Rizobiano para Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis* L.). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, 2007. Disponível em: [revista.aba-agroecologia.org.br](http://revista.aba-agroecologia.org.br). Acesso em: 10 ago. 2025.

SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; SILVA, A. A. da; STRIEDER, M. L. Manejo do solo e adubação na cultura do girassol em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 641-647, 1997. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4694/7352>. Acesso em: 10 ago. 2025.

SILVA, R. C. et al. **Mobilidade de herbicidas aplicados no solo sobre palhada de milho**. 2022. 80 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2022.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS (SBCPD). **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

SOLTANI, N.; SHROPSHIRE, C.; SIKKEMA, P. H. Response of dry beans to tiafenacil applied preemergence. **Weed Technology**, v. 35, n. 6, p. 991-994, 2021. DOI: 10.1017/wet.2021.68. Acesso em: 10 ago. 2025.

TAKESHITA, V.; MENDES, K. F.; ALONSO, F. G.; TORNISIELO, V. L. Effect of Organic Matter on the Behavior and Control Effectiveness of Herbicides in Soil. **Planta Daninha**, v. 37, e019214401, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100110>. Acesso em: 17 nov. 2025.

TEIXEIRA, M. F. F.; ANDRADE, L. C. L.; BIESDORF, E. M. Lixiviação do sulfentrazone em solos do Norte de Minas Gerais cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 246-255, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v16i3.549>. Acesso em: 17 nov. 2025.

TIRONI, S. P. et al. Efeito de herbicidas na atividade microbiana do solo. **Planta Daninha**, v. 27, n. spe, p. 995–1004, 2009.

VARGAS, L. et al. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil: histórico, distribuição, impacto econômico, manejo e prevenção**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: [www.alice.cnptia.embrapa.br](http://www.alice.cnptia.embrapa.br). Acesso em: 17 nov. 2025.

WESTERVELD, D.; SOLTANI, N.; HOOKER, D.; ROBINSON, D.; SIKKEMA, P. Efficacy of tiafenacil applied preplant alone or mixed with metribuzin for glyphosate-resistant horseweed control in soybean. **Weed Technology**, v. 35, n. 5, p. 817-823, 2021.

WINTER, F. L. **Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/496>. Acesso em: 24 nov. 2025.

ZAPATA, H., ISIDRO & SÓLIS, HÉCTOR & MARTÍNEZ, FRANKLIN & AGUILAR J., CARLOS & ZAMORA-NATERA, J.. Biomass yield, soil cover and minerals accumulation by two green manures species grown in soils of Chiapas Mexico. **EURASIAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE (EJSS)**. 11. 329-336. 10.18393/ejss.1135515; 2022.