

**Scientific Electronic Archives**

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 16 (6)

June 2023

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/16620231744>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1744>



Tecnologias de resistência a herbicidas na soja (*Glicine max* L. Merrill):  
revisão bibliográfica

Technologies of resistance to herbicides in soybeans (*Glicine max* L. Merrill):  
literature review

**Wesley Carlos Silva Foles**

Universidade do Estado de Mato Grosso

**Kethelin Cristine Laurindo de Oliveira**

Universidade do Estado de Mato Grosso

**Ana Cassia Silva Possamai**

Universidade do Estado de Mato Grosso

**Gabriela Maria Franz**

Universidade do Estado de Mato Grosso

*Corresponding author*

**Fernanda Lourenço Dipple**

Universidade do Estado de Mato Grosso

[fernanda.dipple@gmail.com](mailto:fernanda.dipple@gmail.com)

**Resumo.** Este trabalho teve como objetivo revisar sobre a importância de biotecnologias transgênicas com destaque a soja resistente aos herbicidas glyphosate, glufosinato de amônio e 2,4-D no manejo de plantas daninhas na cultura da soja. Considerando que já existe mais de 10 plantas daninhas resistentes ao herbicida glyphosate, a implementação de um manejo integrado de plantas daninhas na cultura da soja é imprescindível, práticas culturais como adubação verde, aumento de palhada no solo e controle antecipado das plantas daninhas aliado ao uso de vários mecanismos de ação de herbicidas poderão trazer vantagens a agricultura brasileira devido a sua versatilidade, controle rápido e possibilidade de manejo de plantas daninhas mais sustentável.

**Palavras-chave:** 2,4-D. Glyphosate. Glufosinato de amônio. Plantas daninhas.

**Abstract.** This work aimed to carry out a review about the importance of biotechnology in weed management, Enlist technology, main weeds present in soybeans and Weed resistance management. Therefore, we consider that the use of soybean resistant to glyphosate, glufosinate ammonium and 2,4-D has brought great advantages to Brazilian agriculture due to its versatility, rapid control and the possibility of more sustainable weed management.

**Keywords:** 2,4-D. Glyphosate. Ammonium glufosinate. Weed.

**Introdução**

A soja é uma cultura de grande importância econômica no Brasil e no mundo. O Brasil é considerado o maior exportador deste grão, na safra 2021/2022 a produção foi cerca de 271,2 milhões de toneladas, com projeções de recordes para a safra 2022/2023, movimentando a economia do país

(Conab, 2022). Esta commodity é considerada uma das principais fontes de óleos e proteínas vegetais para a alimentação humana e animal, o que faz dela vital para a economia do país e do mundo (Freitas; Mendonça, 2016). Dentre os principais entraves da cultura, as plantas daninhas podem interferir negativamente no desenvolvimento da cultura

resultando em perdas de produção, que dependendo da densidade e espécie pode reduzir em 94% a produção de soja (Zandona et al., 2018). Devido a essa problemática, os sojicultores buscam genótipos que entreguem facilidade de manejo e menor custo de insumos por hectare.

A cultura da soja é responsável pelo consumo de mais de 52% dos agroquímicos no país, destes 60% são herbicidas utilizados no controle de plantas daninhas (La Cruz et al., 2021), mas o custo para controle pode ser ainda maior, chegando a atingir cerca de US\$ 2,7 bilhões em casos de plantas daninhas resistentes. Em virtude deste cenário, vários eventos tecnológicos para o manejo plantas daninhas vêm sendo lançados. O primeiro foi a soja resistente a glyphosate (RR), introduzidas no mercado em 1996, e em quatro anos, cerca de 90% das áreas cultivadas eram soja resistentes a molécula (Penna; Lema, 2003), o que proporcionou melhor controle e menor custo no manejo das plantas daninhas (Binimelis et al., 2009). Todavia, com o aumento das áreas de cultivo com soja transgênica resistente ao glyphosate, aumentou também o uso deste herbicida que causou o surgimento de vários casos de resistência nas plantas daninhas (Heap, 2020). Muitos produtores devido falta de incentivos para realização de rotação de culturas ou realização de um manejo químico integrado buscam facilidade no controle das plantas daninhas, assim, o uso de ferramentas biotecnológicas, vem sendo bastante exploradas, como a soja resistente a três ingredientes ativos, glyphosate, 2,4-D e glufosinato de amoníum, estes herbicidas trazem maior possibilidade de manejo das daninhas, pois permite uma alteração de mecanismos de ação, porém sua utilização de forma errônea e indiscriminada favorece a perda da tecnologia e pode conferir a resistência das plantas daninhas (Skelton et al., 2017).

Em virtude dos fatos mencionados, este estudo terá como objetivo fazer um levantamento de dados na literatura sobre uma biotecnológica de plantas de soja resistente a três ingredientes ativos, o glyphosate, o 2,4-D e glufosinato de amoníum no manejo de plantas daninhas no Brasil.

### Contextualização e Análise

Desde a introdução no país, a cultura da soja tem passado por vários processos tecnológicos, que visam aumentar principalmente a produtividade de grãos, através do manejo fitossanitário facilitando e adaptação as condições edafoclimáticas (Oliveira Jr, 2011).

Entre os entraves da cultura, para a maior produção e lucratividade, as plantas daninhas estão em destaque, aumentando os custos de produção, e podem interferir no desenvolvimento da cultura resultando em perdas de qualidade e de produtividade. Devido a essa problemática, os sojicultores buscam genótipos que entreguem facilidade de manejo e menor custo de insumos por hectare. Isso porque, as plantas daninhas

competem com as plantas cultivadas em vários processos, como água, luz, CO<sub>2</sub> e nutrientes. Além disso, essas plantas podem produzir compostos alelopáticos, que interferem no desenvolvimento das outras plantas (Oliveira Jr, 2011).

As produções recordes que os sojicultores têm atingido atualmente, é resultado da introdução e adoção de cultivares resistentes a herbicidas. De 2008 a 2018, o uso de soja resistente ao glyphosate aumentou de 14,1 para 33 milhões de hectares, o que corresponde a 95% da área plantada no Brasil (La Cruz et al., 2021). Todavia, o uso indiscriminado de glyphosate levou a seleção de mais de 10 casos de resistência múltiplas ou cruzadas em plantas daninhas na cultura da soja (Heap, 2020). Pensando ainda no controle de ervas daninhas na cultura, o uso de ferramentas biotecnológicas, de plantas de soja resistente a três ingredientes ativos, o glyphosate, o 2,4-D e glufosinato de amoníum, possibilita maior possibilidade de manejo da cultura e mais facilidade para a rotação de ingredientes ativos, favorecendo o manejo de plantas daninhas (Wright et al., 2010; Skelton et al.; 2017).

Em soja, a competição por plantas daninhas pode causar perdas de até 90% da produtividade (Silva et al., 2009), sendo influenciada diretamente pela espécie da planta daninha, população de daninhas na área, época de emergência e estágio fenológico da espécie que causam diferentes concorrências (Agostinetto et al., 2014).

Entre as principais plantas daninhas que ocorrem nos cultivos agrícolas podemos mencionar o azevém (*Lolium perenne*), buva (*Conyza* sp.), caruru (*Amaranthus palmeri* e *Amaranthus hybridus*), capim pé de galinha (*Eleusine indica*) e capim amargoso (*Digitaria insularis*), sendo também os mais preocupantes devido as ocorrências de biotipos resistentes (Vargas et al., 2013).

Um dos aspectos importantes para o manejo das plantas daninhas é estabelecer o momento em que se deve estabelecer o controle (Swanton et al., 2015). Para o manejo é importante conhecer três períodos: período total de prevenção da interferência (PTPI), período antes da interferência (PAI) e período crítico de prevenção da interferência (PCPI) (Bleasdale, 1960; Pitelli, 1985).

Estes períodos quando estabelecidos determinaram o momento de ideal de controle, visto que, o período crítico de competição é o tempo necessário para que as medidas de controle possam reduzir os danos causados pela interferência das plantas daninhas na cultura (Tursun et al., 2016).

### Uso de herbicidas na cultura da soja

O controle químico de plantas daninhas surgiu junto a segunda guerra mundial, por volta de 1940 com a descoberta do ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), desde então, diversos herbicidas pertencentes a diferentes classes químicas e modo de ação, vem sendo comercializados. A aceitação desses produtos pelos produtores foi devido a eficácia superior aos outros

métodos (ex: capina), baixo custo e seletividade as ervas daninhas. Além disso, o uso proporcionou maior produtividade, qualidade do produto colhido, menor mão-de-obra e redução da erosão do solo (Nandula, 2019). Por ser o método mais usado, de US\$ 10,5 bilhões em agrotóxicos em 2018 no Brasil, 33% foram utilizados com herbicidas (Sindiveg, 2018). No entanto, o uso excessivo fez com que as plantas daninhas evoluíssem, ocorrendo os casos de resistência aos herbicidas. Isto tem causado bastante problema, visto que, o custo até a comercialização de um novo ingrediente ativo em 2016, era cerca de \$ 280 milhões (Marrone, 2019) e com o aumento do valor das commodities e do mercado financeiros estes valores só aumentam, bem como a dificuldade de desenvolver moléculas novas.

As plantas daninhas podem apresentar resistência em local-alvo e não-alvo. No local-alvo, a resistência pode ocorrer por mudanças bioquímica no local de ação do herbicida, enquanto que o não-alvo ocorre através de mecanismos que reduzem o número de moléculas de herbicidas que atingem determinado local-alvo (Bo et al., 2017). Desta forma, o conhecimento das plantas daninhas e das moléculas disponíveis no mercado é fundamental para a realização de um cronograma de manejo, juntamente com outras medidas de controle. Segue algumas plantas daninhas com algumas indicações de produtos registrados para a cultura da soja, estão citadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Principais plantas daninhas da cultura da soja e herbicidas para controle.

Nome científico	Nome comum	Produto Comercial	Ingrediente Ativo (Grupo Químico)
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leiteiro	Astral	Glyphosate-sal de isopropilamina (glicina substituída)
		Atectra	Dicamba (ácido benzóico)
		Atulamina 806 SL	2,4-D (ácido ariloxialcanóico)
<i>Bidens pilosa</i>	Picão-preto	Astral	Glyphosate-sal de isopropilamina (glicina substituída)
		Atectra	Dicamba (ácido benzóico)
		Atulamina 806 SL	2,4-D (ácido ariloxialcanóico)
<i>Lolium perenne ssp. multiflorum</i>	Azevém	Chapter	Glufosinato - sal de amônio (homoalanina substituída)
		Clearup	Glyphosate Sal de Dimetilamina (glicina substituída)
		Cletodim CCAB 240 EC	Cletodim (oxima ciclohexanodiona)
<i>Conyza sumatrensis</i>	Buva	Fluente	2,4-D-dimetilamina (ácido ariloxialcanóico)
		Paxeo	Halauxifen-metil (ácido piridinocarboxílico) + diclosulam (sulfonilida triazolopirimidina)
		U 46 BR	2,4-D-dimetilamina (ácido ariloxialcanóico)
<i>Amaranthus palmeri</i>	Caruru	Optill	Imazetapir (imidazolinona) + saflufenacil (pirimidinadiona)
		Payload	Clorimurrom-etílico (sulfoniluréia) + flumioxazina (ciclohexenodicarboximida)
		Pledge SC	Flumioxazina (ciclohexenodicarboximida)
<i>Digitaria insularis</i>	Capim-amagoso	Boundary EC	S-metolaclo (cloroacetanilida) + metribuzim (triazinona)
		Braddock Ultra	Glyphosate-sal de isopropilamina (glicina substituída)
		Cartago	Cletodim (oxima ciclohexanodiona)
<i>Eleusine indica</i>	Capim-pé-de-galinha	Arrow	Trifluralina (dinitroanilina)
		Astral	Glyphosate-sal de isopropilamina (glicina substituída)
		AUG 126	Quizalofop-P-etílico (ácido ariloxifenoxipropiônico)
<i>Nicandra physaloides</i>	Joá-de-capote	Creox	Sulfentrazone (triazolona)
		Crucial	Glyphosate-sal de isopropilamina (glicina substituída) + glyphosate-sal de potássio (glicina substituída)
		Cultifix	Imazapir (imidazolinona)

Fonte: Agrofit. 2022.

#### Herbicida 2,4-D (2,4-Diclorofenoxiacético)

O 2,4-D foi o primeiro herbicida orgânico e seletivo desenvolvido no mundo, atualmente utilizado em mais de 100 países (Kalsing et al., 2018), sendo usado como ingrediente ativo de mais de 1500 produtos herbicidas comerciais (Islam et

al., 2018), sendo utilizado no controle de mais de 200 espécies de plantas daninhas de folha larga (Aquino et al., 2007). Por ser um herbicida do grupo químico dos Ariloxifenoxipropionatos, este possui uma ligação idêntica, o que facilita o metabolismo por uma enzima comum (Nandula, 2019).

O 2,4-D é um herbicida do grupo 4, mimetizadores de auxinas, ácidos fenoxi-carboxílico quando aplicado sobre as plantas susceptíveis é rapidamente absorvido, afetando várias partes do vegetal, principalmente os meristemas. Além disso, ele afeta a fotossíntese, o metabolismo dos carboidratos, respiração e absorção e o metabolismo dos íons, etc (Alterman; Neptune, 1977).

Há alguns anos atrás, houve a descoberta de uma bactéria de solo capaz de conferir tolerância ao 2,4-D, conhecida como *Delftia acidovorans*. Em que, a inserção do gene ariloxialcanoato dioxigenase-12 (aad-12) presentes nessa bactéria, possibilitou o desenvolvimento de plantas tolerantes ao herbicida (Wright et al., 2010). Este gene é responsável por codificar a proteína AAD-12. A enzima AAD-12 metaboliza o 2,4-D por um desintoxicação metabólica rápida, mediada por dioxigenase dependente de Fe(II)/ $\alpha$ -cetoglutarato que degrada o herbicida 2,4-D (Robinson et al., 2012), através da catalise de conversão de 2,4-D em 2,4-Diclorofenol (DCP), composto sem atividade herbicida (Ctnbio, 2015).

#### *Herbicida glufosinato de amônio*

O glufosinato é um herbicida de amplo espectro, não seletivo, responsável por inibir a atividade da enzima glutamina sintetase (GS). A GS atua na desintoxicação da amônia, e a partir do glutamato e amônia ela produz o aminoácido glutamina (Barnett et al., 2012). Este herbicida vem de origem natural, fosfotricina, de fungos *Streptomyces viridochromogenes* e *S. hygroscopicus* (Isaa, 2021). A ocorrência de resistência ao glufosinato ocorre devido a inativação metabólica por uma enzima acetiltransferase que catalisa a acetilação da molécula de glufosinato (Green; Castle, 2005).

Existem dois genes de resistência ao glufosinato, o *bar* e *pat*, codificados de microrganismos do solo (Green, 2009). Entre as plantas daninhas com resistência a glyphosate e que são controladas por glufosinato podemos citar a buva (*Coniza* spp.), uma das principais daninhas relatadas no mundo, com resistência a glyphosate e paraquat (Albrecht et al., 2020).

O glufosinato-amônio é o único herbicida comercializado do grupo 9 (GS). É um herbicida não seletivo, de contato. Os sintomas de toxicidade caracterizam-se pelo aparecimento de manchas cinza-claras. Apresenta baixo controle de espécies perenes. Liga-se à glutamina sintase (GS), que é uma enzima importante na rota metabólica de incorporação do nitrogênio inorgânico, na forma de amônia, na formação de compostos orgânicos. Além de ser importante nesse processo, a GS recicla (incorpora retirando do ambiente celular) a amônia produzida por outros processos metabólicos, como aquela oriunda da degradação e do transporte de proteínas e da fotorrespiração (Roman et al., 2005).

Atualmente se tem registro de apenas uma planta daninha resistente a glufosinato, *Amaranthus palmeri*, o primeiro relato ocorreu em 2020, na

cultura do algodoeiro nos Estados Unidos (International Herbicide-Resistant Weed, 2020).

#### *Herbicida glyphosate*

O glyphosate é um dos herbicidas mais utilizados em todo o mundo, durante a pós-emergência das ervas espontâneas, isso se dá devido ao baixo custo, uso flexível, e controle eficiente de ervas daninhas. Sendo considerado um herbicida sistêmico, não seletivo, tendo como alvos plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas em cultivos anuais e perenes (Duke, 2018). Ele atua na inibição da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) responsável por desencadear uma reação entre o shiquimato-3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP), que dariam a formação do 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato, etapa importante na formação de aminoácidos das plantas (Maeda; Dudareva, 2012).

Na planta a reação ocorreria da seguinte forma, a EPSPs catalisa a reação do shiquimato-3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP) para produzir a EPSP e fosfato inorgânico (PI). Inicialmente, a enzima EPSPs se ligaria ao S3P para formar o complexo EPSPs-S3P, e depois esse complexo se ligaria ao PEP dando origem ao EPSP, mas o glyphosate impede que ocorra formação EPSP, pois liga-se ao complexo EPSPs-S3P, formando um complexo inativo EPSPs-S3P-glyphosat (Kruse et al., 2000). A inativação da enzima enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), interferirá na formação de aminoácidos essenciais ao desenvolvimento das plantas (Steinrucken; Amrhein, 1980).

Devido a ação desta molécula na planta e facilidade de controle ele é um dos herbicidas mais usados. Com a expiração da patente em 2000, começou a produção por outras empresas e isso reduziu ainda mais o custo do produto, e conseqüentemente, houve maior disponibilidade deste produto no mercado (La Cruz et al., 2021). Todavia, com o surgimento das culturas transgênicas resistentes a glyphosate, fez com que o uso fosse ainda maior, sendo considerado o herbicida mais utilizado no mundo, após a década de 90 (Antier, 2020).

#### *Resistência das plantas daninhas a herbicidas*

Esses herbicidas citados são de suma importância para a agricultura. O glyphosate é o herbicida mais utilizado no mundo. Devido sua característica não seletiva e eficiência na pós-emergência (Silva et al., 2021).

Todavia, com o amplo uso desse produto houve uma pressão de seleção, ocorrendo a seleção de ervas daninhas resistentes a glyphosate, isso ocorreu devido as aplicações sucessivas de um mesmo produto ou modo de ação. Sabe-se que existem espécies que são naturalmente mais tolerantes a aplicações com glyphosate, sendo capazes de sobreviver e reproduzir sob doses fatais para outras espécies de plantas (Hrac, 2022). A

resistência reduziu a eficácia e o uso comercial do produto, atualmente existem no Brasil cerca de 51 espécies de plantas resistentes a herbicida, para glyphosate à relatos de 10 espécies (International Survey Of Herbicide Resistant Weeds, 2022).

A ocorrência de biótipos de plantas daninhas resistentes pode aumentar o custo de produção, devido ao controle ineficiente, sendo necessário o uso de outras estratégias de manejo, o que pode diminuir o rendimento da cultura resultado da competição com a cultura de interesse (Correia, 2020). Apesar de todas as táticas usadas para reduzir a ocorrência de plantas daninhas resistentes, a ocorrência de resistências múltiplas ou cruzadas tem aumentado, principalmente em campos de soja resistentes a glyphosate (Vázquez-García et al., 2021).

Quanto aos mecanismos de resistência das plantas daninhas, as mesmas desenvolveram vários mecanismos generalistas a herbicidas não-alvo (NTS) e especialistas (TS). Segundo Vázquez-García et al. (2021) os mecanismos NTS envolvem mutações em genes que codificam enzimas em um sítio alvo e superprodução de proteína alvo. Enquanto que o mecanismo NTS envolvem vários genes não relacionados ao sítio alvo. A resistência com o mecanismo NTS é a que ocorre para paraquat e glyphosate. Um exemplo de planta daninha com resistência múltipla é a buva (*Conyza* sp.) resistente a (glyphosate, chlorimuron, paraquat, diuron, saflufenacil, 2,4-D) (Heap, 2020).

#### *Eventos de biotecnologia na soja para o controle de plantas daninhas*

A biotecnologia é o conjunto de etapas envolvendo organismos vivos para fabricar ou modificar produtos. A palavra biotecnologia é composta por bio=vida, tecno=técnica e logos=conhecimentos. A tecnologia do DNA recombinante descrita pela primeira vez em 1972, possibilitou aos cientistas manipulação da fita do DNA, e com essa técnica foi possível o isolamento e manipulação de genes. Essa mesma estratégia foi utilizada no desenvolvimento de plantas com características melhoradas, por meio de ganho, perdas ou modificações de genes. No mundo, o uso de plantas geneticamente modificadas (GM) aumentou a produção no campo. Atualmente tem-se plantas de soja GM resistentes a insetos e aplicações de herbicidas (Crop Life, 2020). O uso da biotecnologia possibilitou maior produção e menor uso de agrotóxicos (Oliveira Jr, 2011).

A área de cultivos com plantas GM em 2017 atingiu 189,8 milhões de ha no mundo, 4,7 milhões a mais que em 2016. Com crescimento em cerca de 112 vezes de 1996 a 2017, saindo de 1,7 milhões de ha para 189,8 milhões no mundo, sendo considerada a tecnologia mais rapidamente empregada e aceita (Nandula et al., 2019). No Brasil, cerca de 95% das áreas cultivadas são transgênicas, o principal motivo é a redução dos custos, facilidade de manejo de pragas e plantas

daninhas e consequentemente maior produtividade (Embrapa Soja, 2013; Oliveira Neto et al., 2020).

Os principais eventos biotecnológicos na cultura da soja para facilidade de manejo em plantas daninhas são: Roundup Ready® – RR, Intacta RR2 Pro®, Cultivance®, Liberty Link®, Conkasta Enlist E3® e Intacta 2 Xtend®.

No Brasil, com o lançamento da soja RR em 1998, soja resistente ao glyphosate, foi excelente para o manejo de plantas daninhas pelos produtores, de modo que essa tecnologia foi muito bem aceita, crescendo muito a área plantada em pouco tempo da inserção da tecnologia no mercado (Oliveira Neto et al., 2020).

A tecnologia de soja resistente ao glyphosate, glufosinato de amônio e 2,4-D é uma ferramenta usada em vários locais do mundo para o controle das plantas daninhas resistentes a glyphosate. Essa tecnologia conta com três princípios ativos distintos, o glyphosate, glufosinato de amônio e 2,4-D (2,4-Diclorofenoacético) (Wright et al., 2010; Skelton et al., 2017).

Em que através da biotecnologia foram inseridos genes que possibilitaram a soja a insensibilidade a esses princípios. Para isso foram inseridos os genes ariloxialcanoato dioxigenase (AAD-12 V1), proteína AAD-12, enolpiruvilshiquimato 3-fosfato sintase (EPSPs) e fosfinotricina acetiltransferase (pat). Na qual o gene AAD-12 V1 codifica a proteína AAD-12, responsável por converter o 2,4-D em 2,4-Diclorofenol (2,4-DCP), composto não tóxico. enquanto que - enolpiruvilshiquimato 3-fosfato sintase (EPSPs) e fosfinotricina acetiltransferase (pat) confere tolerância ao glyphosate e glufosinato de amônio, respectivamente (Wright et al., 2010; Mazon et al., 2022).

Na soja RR por exemplo, a aplicação de glyphosate de v6-R2 ou doses maiores (2.880 g e ha<sup>-1</sup>) poderiam afetar negativamente a fotossíntese da planta, o que podem resultar em menor produção (Albrecht et al., 2011). No entanto, quando falamos da soja resistente ao glyphosate, glufosinato de amônio e 2,4-D não há relatos de redução na produtividade, sendo capazes de tolerar até 2X a dose de glyphosate, colina 2,4-D ou glufosinato quando aplicadas PRÉ ou PÓS, da emergência ao estádio R2 da soja (Peterson et al., 2015; Frene et al., 2018).

Com a presença dos três princípios ativos diferentes em uma tecnologia, possibilita ao produtor maior possibilidade de manejo, isso porque, daninhas como buva (*Conyza* spp.) e outras daninhas resistentes ao glyphosate são bem controladas por 2,4-D. Assim, o produtor terá o manejo mais eficiente, diversidade química e menor probabilidade de plantas daninhas resistentes (Kalsing et al., 2018).

#### *Manejo de resistência de plantas daninhas a herbicidas*

A ocorrência de planta daninha resistente nada mais é que a seleção de um biótipo resistente

a determinado herbicida, presente em uma população. Essa resistência consiste na capacidade natural e herdável de uma espécie, de uma população, em sobreviver e reproduzir após a exposição a dosagens consideradas letais (Christoffoleti; López-Ovejero, 2003).

Todavia, para que haja evolução de organismos, é importante a ocorrência de variabilidade genética, em plantas daninhas isso não é diferente, a variabilidade genética existe em qualquer população, sendo responsável pela fonte inicial de resistência em uma população susceptível, assim, independente da aplicação de qualquer produto é provável que haja ao menos uma planta resistente (Kissmann, 1996). Isso ocorre por causa das mutações gênicas, que pode ser resultado de recombinações, e não necessariamente induzida pela aplicação do herbicida, mas também do ambiente (Christoffoleti; López-Ovejero, 2003).

O fluxo gênico e a pressão de seleção são os pontos mais importantes na evolução da resistência, pois favorecem a frequência de plantas daninhas resistentes em uma população. Outro fator é o tipo de reprodução, plantas resistentes que se reproduzem por autofecundação apresentam dispersão pequena quando comparada a reprodução cruzada. Além disso, as plantas que se reproduzem por reprodução cruzada apresentam maior variabilidade genética e maiores chances de resistência múltiplas (Christoffoleti; López-Ovejero, 2003). Esses dois processos, junto aos fatores agronômicos/operacionais são responsáveis por interferir na evolução da resistência (Hrac, 2022).

A resistência a herbicidas surgiu como uma séria ameaça a produção agrícola do mundo, sendo um grande empecilho no sucesso dos herbicidas, produção e a agricultura moderna. Visto que, a ocorrência de biotipos resistentes torna ainda mais difícil o controle, muitas vezes não sendo viável devido as perdas de moléculas com mecanismos de ação com alta performance (Peterson et al., 2018). Esta perda tem sido rápida, não acompanhando o surgimento de novas moléculas, e isso implica em menor produtividade e maior custo de produção (Ganie et al., 2021).

O uso de soja resistentes a glyphosate, glufosinato de amônio e 2,4 D é considerado uma grande aliada do produtor, por auxiliar no manejo de plantas daninhas resistentes a glyphosate no sistema produtivo, sendo uma tática mais sustentável. Essas biotecnologias é promissora para o controle principalmente de *Amaranthus rudis* a curto prazo, com diferentes mecanismos de ação, e para o controle de planta com resistência múltipla. Nos anos de 2015/2016 ensaios avaliando as tecnologias, no controle de *Amaranthus rudis*, o uso das tecnologias manteve a população controlada, superior a 90%, com densidade populacional entre 0-2% (Schyver et al., 2017).

Em 2018/2019 avaliou-se o controle de *Amaranthus palmeri* em PRE e POS, analisando o controle, densidade e redução da biomassa. Neste estudo, o uso de Sulfentrazone + cloransulam-metil,

imazethapyr + saflufenacil + piroxasulfona e chlorimuron etil + flumioxazin + metribuzin em PRE, apresentaram controle de 84-97% em comparação a testemunha (sem tratamento) (Shyam et al., 2020), comprovando a eficiência no uso de misturas de diferentes mecanismos de ação.

Quanto ao monitoramento de plantas resistentes, é importante mencionar que relatamos uma planta resistente a uma molécula de herbicida quando 30% das plantas de uma espécie apresentam-se resistentes (Maxwell; Mortimer, 1994).

Sendo importante enfatizar a análise de todo o processo produtivo, pois é comum casos de erros na condução e manejo dessas plantas, o que causa baixa mortalidade, levando a uma decisão errônea sobre as plantas da área. Neste sentido, quando verificamos que o herbicida não está sendo eficiente alguns passos devem ser analisados antes de relatar a ocorrência de biotipos resistentes, como: analisar se não houve falha na aplicação do herbicida; verificar as condições climáticas; conhecer a planta daninha: tipo da planta, estágio, infestação alta, etc. visualização de plantas vivas ao lado de plantas mortas (mesma espécie), etc (Christoffoleti; López-Ovejero, 2003). Pois, a ineficiência de controle das plantas daninhas nem sempre está relacionada a resistência aos produtos e sim ao manejo inadequado.

### Considerações finais

O manejo integrado de plantas daninhas, com práticas culturais, rotação de mecanismos de ações de herbicidas e o uso de biotecnologias de soja tolerantes a herbicidas como glyphosate, glufosinato de amônio e 2,4-D possibilitam vantagens como a diminuição dos casos de resistência de plantas daninhas à herbicidas e aumento da produção de grãos.

### Referências

AGOSTINETTO D. et al. Competition periods of crabgrass with rice and soybean crops. *Planta Daninha*, v. 32, p.31-38, 2014.

AGROFIT - Sistema de agrotóxicos fitossanitário, 2022. Disponível em: <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principa\\_l\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principa_l_agrofit_cons)> Acessado em maio de 2022.

ALBRECHT, L. P.; BARBOSA, A. P.; SILVA, A. F. M.; MENDES, M. A.; MARASCHI SILVA, L. M.; ALBRECHT, A. J. P. Performance of Roundup Ready soybean under glyphosate application at different stages. *Planta daninha*, v.29, n.3, p.585-590, 2011.

ALBRECHT, A. J. P. et al. Control of *Conyza* spp. with sequential application of glufosinate in soybean pre-sowing. *Ciência rural*, v. 50, 2020.

- ALTERMAN, M. K.; NEPTUNE, A. M. L. Efeito do ácido 2, 4-diclorofenoxyacético (2, 4-D) na absorção do fósforo (32p) pelo trigo (*Triticum aestivum* L) e a sua distribuição na planta. Anais da escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, v. 34, p. 541-550, 1977.
- ANTIER, C. et al. A survey on the uses of glyphosate in European countries, p. 60, 2020.
- AQUINO, A. J. A. et al. Interaction of the 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide with soil organic matter moieties: a theoretical study. European journal of soil science, v. 58, n. 4, p. 889-899, 2007.
- BINIMELIS, R.; PENGUE, W.; MONTERROSO, I. "Transgenic treadmill": responses to the emergence and spread of glyphosate-resistant johnsongrass in Argentina. Geoforum, v. 40, n. 4, p. 623-633, 2009.
- BO, A. B.; WON, O. J.; SIN, H.T.; LEE, J. J.; PARK, K. W. Mechanisms of herbicide resistance in weeds. Korean Journal of agricultural science, v.44, n.1, p.1-15, 2017.
- BLEASDALE, J. K. A. Studies on plant competition. In: HARPER, J. L. The biology of weeds. Oxford: Blackwell Scientific, p. 133-142, 1960.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. Planta daninha, v. 21, n. 3, p. 507-515, 2003.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTORIA FILHO, R.; SILVA, Cl. B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. Planta daninha, v. 12, n. 1, p. 13-20, 1994.
- CONAB.Companhia Nacional de Abastecimento. Produção safra 2021/2022 soja Brasil. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4744-producao-de-graos-atinge-recorde-na-safra-2021-22-e-chega-a-271-2-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em dezembro 2022.
- CROP LIFE. Biotecnologia: o que é e como ela ajuda a humanidade a se desenvolver, 2020. Disponível em:<<https://croplifebrasil.org/conceitos/a-biotecnologia-e-o-desenvolvimento-da-humanidade/#:~:text=A%20biotecnologia%20%C3%A9%20o%20conjunto,%E2%80%9D%20quer%20dizer%20%E2%80%9Cconhecimento%E2%80%9D>> Acesso em abril de 2022.
- CTNBIO - Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. Parecer Técnico Nº 4866/2015/2015, 2015. Disponível em:<<http://ctnbio.mctic.gov.br/documents/566529/2257311/Parecer+Patricia+Fernandes/a7c0dd9f-cb71-4c9a-8422-972641419301;jsessionid=3A5DE6E1B146CC55D71E588F346B1D79.columba?version=1.0>>Acessado em abril de 2022.
- DUKE, S. O. Glyphosate: The world's most successful herbicide under intense scientific scrutiny. Pest Management Science, v. 74, n. 5, p. 1025-1034, 2018.
- EMBRAPA SOJA. Tecnologias de produção de soja - região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, p. 265, 2013.
- GANIE, Z. A. et al. An outlook of FMC's current and future herbicide-resistance management strategies. Pest management science, v. 77, n. 4, p. 1559-1563, 2021.
- GREEN, J. M. Evolution of glyphosate-resistant crop technology. Weed Science, v. 57, n. 1, p. 108-117, 2009.
- GREEN, J. M.; CASTLE, L. A. Transitioning from single to multiple herbicide-resistant crops. Glyphosate resistance in crops and weeds: History, development, and management, p. 67-91, 2010.
- FREITAS, R. E. ; MENDONÇA, M. A. A. Expansão agrícola no Brasil e a participação da soja: 20 anos. RESR, Piracicaba, São Paulo, v. 54, n. 03, p. 497-516. 2016.
- HEAP I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds, 2020. Disponível em: Disponível em:<<http://www.weedscience.org/>> Acesso em abril de 2022.
- HRAC – Comitê de Ação a Resistência aos Herbicidas. Assuntos técnicos, 2022. Disponível em:< <https://www.hrac-br.org/assuntos-tecnicos> > Acesso em maio de 2022.
- INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS, L2022. Disponível em:< <https://www.weedscience.org/Home.aspx>> Acesso em maio de 2022.
- ISAAA - International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. GM Crop Events approved in Brazil, 2021. Disponível em:< <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/>> Acesso em abril de 2022.
- ISLAM, F. et al. Potential impact of the herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. Environment International, v. 111, p. 332-351, 2018.
- KALSING, A. et al. Tolerância da Soja DAS-444Ø6-6 e DAS-444Ø6-6 x DAS-81419-2 ao 2, 4-D e glyphosate na Região do Cerrado Brasileiro. Planta daninha, v. 36, 2018.
- KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da EPSPS: revisão de

- literatura. Revista Brasileira de Herbicidas, v. 1, n. 2, p. 139-146, 2000.
- LA CRUZ, R. A. et al. Glyphosate ban in Mexico: Potential impacts on agriculture and weed management. Pest Management Science, v. 77, n. 9, p. 3820-3831, 2021.
- MAEDA, H.; DUDAREVA, N. The shikimate pathway and aromatic amino acid biosynthesis in plants. Annual review of plant biology, v. 63, p. 73-105, 2012.
- MARRONE, P. G. Pesticidal natural products—status and future potential. Pest Management Science, v. 75, n. 9, p. 2325-2340, 2019.
- MAXWELL, B. D.; MORTIMER, A. M. Selection for herbicide resistance. In: POWLES, S.; HOLTUR, J. A. M. Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry. Boca Raton, p. 1-26, 1994.
- MAZON, A. S. et al. Enlist volunteer corn affects the crop development and seed quality of Enlist soybean. Bragantia, v. 81, 2022.
- NANDULA, V. K. Herbicide resistance traits in maize and soybean: current status and future outlook. Plants, v. 8, n. 9, p. 337, 2019.
- OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Mecanismo de ação dos herbicidas. In: R. S. Oliveira Junior, J. Constantin, M. H. Inouse (Eds.). Biologia e Manejo de Plantas Daninhas. Omnipax, 2011.
- PENNA, J. A.; LEMA, D. Adoption of herbicide tolerant soybeans in Argentina: an economic analysis. In: The Economic and Environmental Impacts of Agbiotech. Springer, p. 203-221, 2003.
- PETERSON, M. A. et al. Utility of Aryloxyalkanoate Dioxygenase Transgenes for Development of New Herbicide Resistant Crop Technologies. Information Systems for Biotechnology, v. 10, p. 2015.
- SCHRYVER, M. G. et al. Control of glyphosate-resistant common waterhemp (*Amaranthus rudis*) in three new herbicide-resistant soybean varieties in Ontario. Weed Technology, v. 31, n. 6, p. 828-837, 2017.
- SHYAM, C. et al. Management of glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in 2, 4-D-, glufosinate-, and glyphosate-resistant soybean. Weed Technology, v. 35, n. 1, p. 136-143, 2020.
- SILVA, A. F. M. et al. Herbicides in agronomic performance and chlorophyll indices of Enlist E3 and Roundup Ready soybean. Australian Journal of Crop Science, v. 15, p. 305-311, 2021.
- SKELTON, J. J. et al. Biokinetic analysis and metabolic fate of 2, 4-D in 2, 4-D-resistant soybean (*Glycine max*). Journal of agricultural and food chemistry, v. 65, n. 29, p. 5847-5859, 2017.
- STEINRÜCKEN, H. C.; AMRHEIN, N. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvylshikimic acid-3-phosphate synthase. Biochemical and biophysical research communications, v. 94, n. 4, p. 1207-1212, 1980.
- SWANTON, C. J.; NKOA, R.; BLACKSHAW, R. E. Experimental methods for crop–weed competition studies. Weed Science, v.63, p.2-11, 2015.
- TURSUN, N.; DATTA, A.; SAKINMAZ, M. S.; KANTARCI, Z.; KNEZEVIC, S. Z.; CHAUHAN, B. S. The critical period for weed control in three corn (*Zea mays* L.) types. Crop Protection, v.90, p.59-65, 2016.
- VARGAS, L. et al. Manejo de resistência em sistemas de cultivo soja/milho. In: Embrapa Soja- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS NO NORDESTE, 2., 2013, Campina Grande. Desafios, avanços e soluções no manejo de plantas daninhas: palestras. Brasília, DF: Embrapa: SBCPD, 2013., 2013.
- VAZQUEZ-GARCIA, J. G. et al. Multiple herbicide resistance evolution: the case of Eleusine indica in Brazil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 69, n. 4, p. 1197-1205, 2021.
- ZANDONÁ, R. R. et al. Interference periods in soybean crop as affected by emergence times of weeds. Planta daninha, v. 36, 2018.