

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
PACES - PROJETANDO AGRICULTURA COMPROMISSADA EM
SUSTENTABILIDADE

Raissa Bueno de Carvalho

Sophia Bez Ribeiro

Herbicidas mimetizadores de auxina

Piracicaba

2024

RAISSA BUENO DE CAMARGO

SOPHIA BEZ RIBEIRO

Herbicidas inibidores de auxina

Revisão bibliográfica apresentada ao
PACES - Projetando Agricultura
Compromissada em Sustentabilidade, na
Esalq - Escola Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz", USP - Universidade de São
Paulo, no Departamento de Ciências do
Solo (LSO).

Orientadores: Prof. Fernando Dini Andreote
e Prof. Moacir Tuzzin de Moraes.

Coordenadores: Kaio Eduardo P. Álvares e
Thales Góes P. de Souza.

Piracicaba

2024

RESUMO: No Brasil, o 2,4-D é o segundo ingrediente ativo mais vendido, atrás apenas do glifosato, com 65.356,52 toneladas vendidas em 2022. Os herbicidas auxínicos, como o 2,4-D, são sistêmicos e seletivos, usados para controlar plantas daninhas de folhas largas. Eles são altamente solúveis em água, voláteis e têm baixo potencial de lixiviação. Embora não sejam persistentes no solo, podem persistir em sistemas aquáticos sob certas condições. As auxinas sintéticas regulam o crescimento vegetal, interferindo na divisão e na elongação celular. Elas aumentam a biossíntese de etileno, giberelinas, citocininas e ácido abscísico. Os herbicidas auxínicos incluem ácidos benzoicos (ex. dicamba), fenoxicarboxílicos (ex. 2,4-D), carboxílicos (ex. picloram) e quinolinocarboxílicos (ex. quincloraque). Esses herbicidas são seletivos e usados principalmente para controlar plantas de folha larga. No entanto, seu uso indiscriminado levou à resistência em quatro espécies: *Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*, *Conyza sumatrensis* e *Sagittaria montevidensis*. Tecnologias como Xtend e Enlist permitem o uso de 2,4-D em culturas como a soja. Avaliando a eficácia de herbicidas auxínicos em mistura, observou-se que, ao associar inibidores da ACCase e 2,4-D, todos os tratamentos demonstraram uma queda na eficiência, mas os tratamentos que tiveram perdas menos expressivas foram utilizados o Select, Podium EW e Verdict. Demonstrou-se também que a associação de glifosato com 2,4-D e setoxidim controla melhor as plantas daninhas, com uma relação aditiva entre os herbicidas, sem sinergismo ou antagonismo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	6
3 MECANISMO DE AÇÃO.....	8
3.1 GRUPOS QUÍMICOS.....	8
3.2 MODO DE AÇÃO.....	9
2.3 SINTOMATOLOGIA.....	10
4 INTERAÇÃO COM AS PLANTAS.....	12
4.1 SELETIVIDADE.....	12
4.2 RESISTÊNCIA.....	13
4.3 TRANSGENIA.....	14
5 MISTURAS EM CALDA.....	16
5.1 ANTAGONISMO.....	16
5.2 RELAÇÃO ADITIVA.....	17
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	20
REFERÊNCIAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

A auxina é importante principalmente devido ao crescimento vegetal, sendo o primeiro hormônio vegetal a ser estudado em plantas. A sua descoberta se deu pelos irmãos Darwin, em 1880, a partir do estudo acerca da curvatura do coleóptilo de plântulas de alpiste e os hipocótilos de plântulas de outras espécies em resposta à luz unidirecional. Assim, a partir dessas observações e estudos, eles concluíram que havia um sinal produzido no ápice e que se deslocava para baixo, fazendo com que as células inferiores crescessem de maneira mais rápida no lado sombreado do que no lado iluminado, sendo demonstrado que o sinal se tratava de uma substância química que podia difundir-se, recebendo o nome pelos fisiologistas de “auxina”, originando do grego *auxein* (aumentar ou crescer) (Taiz *et al.*, 2021).

O AIA (ácido 3-indolacético) é identificado como uma auxina primária, que apresenta uma estrutura simples. Dessa forma, de maneira rápida os pesquisadores puderam sintetizar diversas moléculas com atividade auxínica, podendo ser exemplificado o ácido 1-naftaleno-acético (ANA), o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e o ácido 2-metoxi-3,6-diclorobenzoico (dicamba), que podem ser utilizados como reguladores de crescimento e herbicidas. De maneira geral, a auxina vai ser um hormônio que promove a expansão celular nos tecidos aéreos em crescimento, enquanto simultaneamente inibe a expansão celular nas raízes. Ou seja, ela irá incentivar a iniciação de raízes laterais, em um subconjunto de células do periciclo, enquanto também incentiva os primórdios foliares do meristema apical do caule — e controla a diferenciação vascular nos órgãos vegetais (Taiz *et al.*, 2021).

Atualmente, no Brasil, o 2,4-D é um dos ingredientes ativos mais vendidos, ficando atrás somente do glifosato e seus sais. Segundo o ranking divulgado pelo IBAMA (2022) a respeito dos ingredientes ativos mais vendidos no país, o 2,4-D se apresenta com um valor total de tonelada de ingrediente ativo de 65.356,52, sendo que o primeiro colocado do ranking é o glifosato e seus sais, que apresentam valores de 266.088,12. O terceiro lugar no ranking é a atrazina, que apresenta um valor total em tonelada de ingrediente ativo de 47.663,24, um valor que é aproximadamente 27% menor.

2 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Como um dos principais representantes do grupo dos inibidores auxínicos, tem-se o 2,4-D, que foi o primeiro composto orgânico sintetizado pela indústria como um herbicida seletivo. Dessa forma, para o levantamento das propriedades físico-químicas deste grupo foi levado em consideração esse herbicida, de acordo com dados fornecidos pelo Pesticide Properties DataBase (PPDB) - University of Hertfordshire.

A polaridade (S_w) é a quantidade máxima que se dissolve em água pura em determinada temperatura, sendo neste caso 20°C. A sua solubilidade é considerada alta. O coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) é uma relação direta com afinidade da molécula por substância de natureza orgânica e apolar, ou inorgânica e polar, dessa forma, o K_{ow} do herbicida vai ser baixo.

Quanto à constante de dissociação eletrolítica (pKa), ela está diretamente correlacionada com a ionização, sendo o valor de pH em que 50% das moléculas estão dissociadas e 50% associadas. Dessa forma, somente moléculas capazes de se ionizarem possuem pKa, sendo que os baixos valores são correspondentes à molécula ácida. O 2,4-D se trata de um ácido fraco, que em pH mais alto tende a se ionizar. Assim, se o pH for maior que o pKa, a forma dissociada (aniônica) é prevalecida, e se o pH for menor que o pKa, a forma molecular prevalece, sendo presente na forma neutra.

Por fim, a pressão de vapor, ou seja, a força exercida pelo vapor em equilíbrio com um líquido (PV) vai ser referente à facilidade pela qual as moléculas passam do estado líquido para o estado gasoso, ou seja, é correspondente a sua volatilidade. Vai afetar moléculas presentes em diversas superfícies, como em folhas, palha e solo, bem como aquelas presentes na solução do solo. No caso dessa molécula, ela é volatilizada.

Quanto à interação do herbicida no ambiente, é importante ressaltar que, para que o registro possa acontecer, alguns fatores devem ser analisados, como: a eficácia (fiscalizada pelo MAPA), a periculosidade ambiental (fiscalizada pelo IBAMA) e por fim, a sua classificação toxicológica (fiscalizada pela ANVISA). Um fator decisivo para que estes parâmetros sejam classificados, são dois índices de comportamento no solo, sendo eles a sorção (K_d) e a dessorção (K_{oc}).

A sorção vai ser um processo de retenção do herbicida no solo que engloba os mecanismos de adsorção, absorção e precipitação, sendo cada fator caracterizado respectivamente por serem um fenômeno de superfície que se dá por ligações químicas, uma matriz do solo, das plantas e dos microrganismos e por formação e separação de superfícies sólidas, sendo um resíduo ligado. Dessa forma, quanto maior for o coeficiente de sorção, menor vai ser a degradação e mais lenta a mineralização. Já o K_{oc} , como mencionado anteriormente, vai estar diretamente relacionado com a dessorção da molécula aos colóides do solo, sendo um K_d normalizado pelo conteúdo de C_{org} . Em um geral, é uma molécula móvel no solo, sendo que seu K_{oc} é baixo.

Para finalizar, um dos fatores de interação com o ambiente mais importantes é a lixiviação do herbicida no solo, sendo o caminhamento da molécula do herbicida no perfil do solo. Alguns fatores da molécula e do ambiente vão ser importantes, como a sorção, umidade, solubilidade, temperatura e persistência. Assim, outros dois importantes parâmetros é a degradação e meia-vida ($T_{1/2}$), que pode ser biótica a partir de microrganismos, ou abiótica por meio de hidrólise, hidroxilação, metilação, oxidação e fotólise. No solo, não é uma molécula persistente, mas pode ser persistente nos sistemas aquáticos em algumas situações. O potencial de lixiviação pode ser metrificado por meio do índice de GUS (Groundwater Ubiquity Score), que vai classificar o herbicida em não lixiviável, potencialmente lixiviável e lixiviável. O GUS indica uma alta propensão à lixiviação.

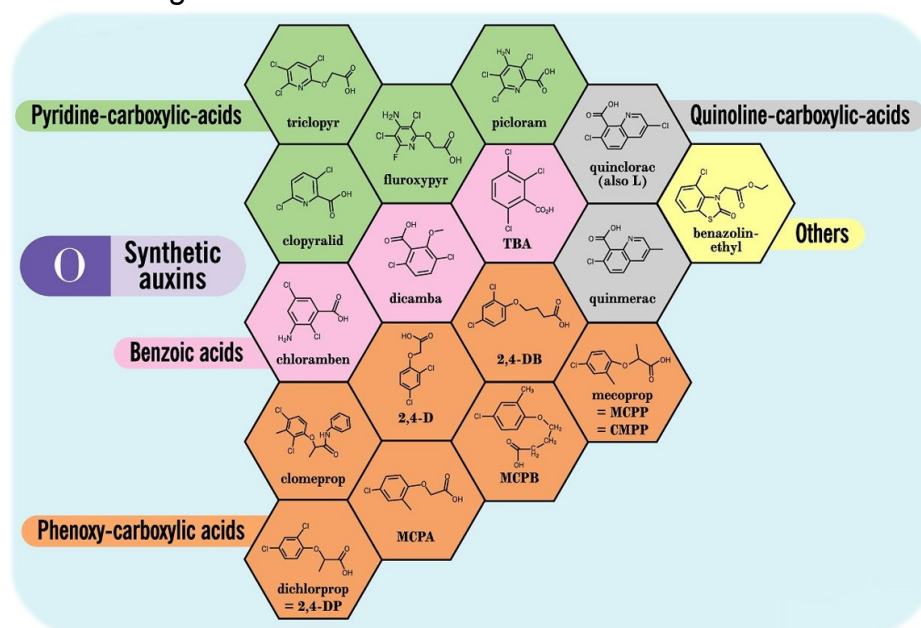
3 MECANISMO DE AÇÃO

Os herbicidas pertencentes ao grupo 4 pela classificação da Weed Science Society of America (WSSA), ou também chamado grupo O de acordo com a classificação do Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), apresentam como mecanismo de ação a mimetização das auxinas, que são hormônios reguladores de crescimento das plantas. Sendo também conhecidos como auxinas sintéticas ou herbicidas hormonais, têm sua função relacionada à estrutura semelhante às auxinas naturalmente produzidas pelas plantas (Presoto, 2018).

3.1 GRUPOS QUÍMICOS

Segundo a classificação do HRAC, esse mecanismo de ação é composto por 4 diferentes grupos químicos (Figura 1): ácido benzoico (cujo exemplo de ingrediente ativo é o dicamba), ácido fenoxicarboxílico (com 2,4-D, fluroxipir-fen-benzil e MCPA compoendo o grupo), ácido carboxílico (exemplos de ingredientes ativos: aminopiralde, fluroxipir-meptílico, picloram e triclopir) e ácido quinolinocarboxílico (cujo representante é o quincloraque) (Giraldeli, 2019).

Figura 1 - Herbicidas mimetizadores de auxina



Fonte: Heap (2024).

3.2 MODO DE AÇÃO

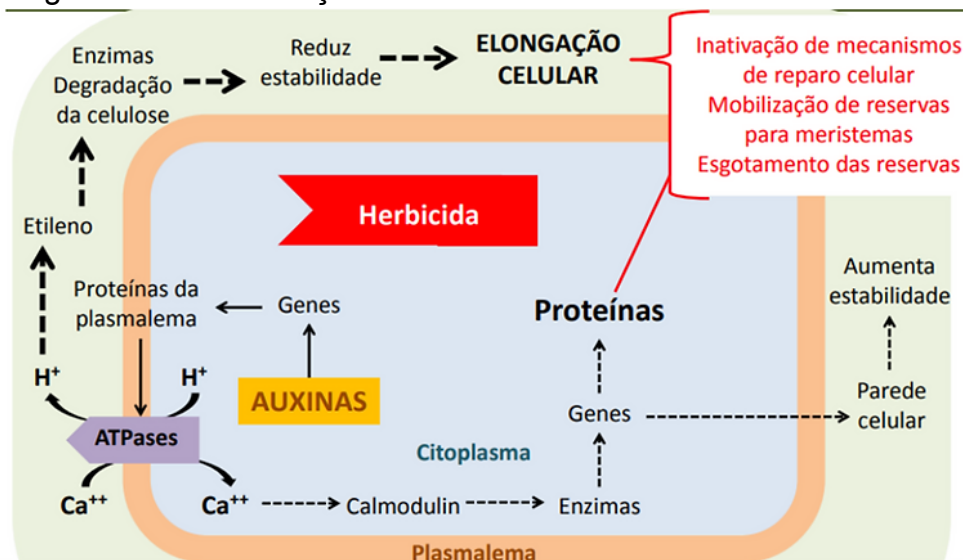
As auxinas sintéticas atuam, então, como reguladoras de crescimento, interferindo primordialmente nos mecanismos de divisão e alongação celular, como consequência de desbalanços hormonais que acarretam aumento na biossíntese de etileno, giberelinas, citocininas e ácido abscísico. A ação destes herbicidas irá então promover uma desordenação no crescimento dos tecidos vegetais, principalmente os tecidos maduros que voltam à atividade. O que se deve à inibição das atividades meristemáticas em tecidos primários por meio da inibição da divisão celular (Presoto, 2018).

Em primeiro momento, estes herbicidas irão ocasionar a acidificação da parede celular, alterando sua plasticidade, interferindo ainda no metabolismo de ácidos nucleicos. As moléculas, logo após a aplicação, apresentam capacidade de ligar-se às proteínas receptoras específicas das membranas celulares e gerar efeitos a curto e longo prazo (Presoto, 2018).

Pode-se verificar a curto prazo que, como mostra a figura 2, ao se ligar aos receptores específicos na membrana, a molécula herbicida possui capacidade de causar hidrólise do fosfatidilinositol bifosfato, gerando diacilglicerol e inositol 1,4,5 trifosfato, provocando ainda, em sequência, a mobilização de íons Ca^{2+} do retículo endoplasmático, causando acúmulo no citoplasma, que, em associação ao diacilglicerol, irá ativar proteínas quinases que, por sua vez, ativam também outras enzimas chave que provocam mudanças metabólicas na célula vegetal. Certa quantidade dos íons Ca^{2+} acumulados é mobilizada para o vacúolo, liberando íons H^+ no citoplasma, estimulando, por conseguinte, bombas de prótons ATPases presentes na membrana plasmática, que causam a acidificação da parede celular, e a formação de celulases a partir do aumento de etileno, que são responsáveis pela desestabilização da parede celular; havendo ainda, alongação celular por conta da pressão de turgor das células (Presoto, 2018).

Já a longo prazo, há também por intermédio do acúmulo de íons bivalentes de cálcio no citoplasma, a ativação de proteína calmodulina, que em associação a fosforilação de proteínas específicas, é responsável por estimular a transcrição nuclear e síntese de RNA_m , que promove síntese posterior de RNA, DNA, proteínas e polissacarídeos (Giraldeli, 2019).

Figura 2 - Modo de ação dos herbicidas mimetizadores de auxina



Fonte: Presoto (2018).

2.3 SINTOMATOLOGIA

Este mecanismo de ação apresenta grande variedade de sítios de ação, de modo que os sintomas de injúria se tornam variados. No geral, plantas suscetíveis apresentam desenvolvimento anormal da parede celular, com ramos retorcidos por conta do aumento da plasticidade celular. Além de promoção da divisão celular e aceleração e desordenação no alongamento celular de partes novas da planta, promovidos pela síntese hormonal acarretada pelo herbicida (Marchi *et al.*, 2008).

Um dos sintomas mais característicos é a chamada epinastia, que consiste em curvatura ou enrolamento do caule e pecíolo das plantas, sendo comum em dicotiledôneas (Figura 3). Há também um espessamento do caule (calo), principalmente na região dos nós, devido ao crescimento proliferado e desordenado, e tumores no caule que surgem em decorrência da interrupção do floema. A folhagem pode adquirir coloração mais escurecida, havendo conjuntamente um encarquilhamento do limbo; no caso das regiões meristemáticas, é comum a ocorrência de clorose e murchamento com subsequente necrose (Marchi *et al.*, 2008). A morte da planta após o agravamento dos sintomas geralmente é lenta, demorando cerca de 3 a 5 semanas para ocorrer (Giraldeli, 2019).

Figura 3 - Sintoma de epinastia



Fonte: Weed Out.

4 INTERAÇÃO COM AS PLANTAS

De modo geral, os herbicidas são utilizados para controlar plantas indesejadas nas áreas, sendo os herbicidas mimetizadores de auxina importantes no controle de plantas de folhas largas em culturas de folhas estreitas normalmente. Dessa maneira, quando realizado um posicionamento errôneo dos ingredientes ativos, estes podem vir a causar efeito fitotóxico nas culturas de interesse.

Neste contexto, além das culturas que possuem capacidade de resistir aos herbicidas inata, deve-se considerar culturas que naturalmente não possuem capacidade de tolerar as moléculas herbicidas, mas adquiriram através da seleção em campo de espécies resistentes, ou ainda plantas que por meio de modificações laboratoriais puderam adquirir tolerância à determinados herbicidas.

4.1 SELETIVIDADE

Os herbicidas podem ser classificados de acordo com a seletividade, que é a capacidade de controlar certas plantas daninhas sem causar danos à cultura de interesse. Havendo ainda uma classificação de acordo com o grupo de plantas a qual é capaz de controlar: graminicidas (que matam, predominantemente, monocotiledôneas), graminicidas exclusivos (que controlam exclusivamente plantas de folha estreita), latifolicidas (que matam de maneira predominante, plantas de folha larga), latifolicidas exclusivos (que controlam apenas dicotiledôneas) e ainda, herbicidas de amplo espectro (possuem capacidade de controle indiscriminado de plantas mono e dicotiledôneas (De Carvalho, 2013).

Como citado anteriormente, as auxinas sintéticas são seletivas à folhas estreitas, controlando folhas largas, majoritariamente, classificando-se como latifolicidas. O que se atribui seletividade ao grupo de plantas pertencentes à família Poaceae é o arranjo de feixes vasculares e a presença de meristemas intercalares, além de metabolização das moléculas herbicidas e exsudações radiculares (Roman *et al.*, 2005).

Nas gramíneas, há ocorrência do tecido vascular em feixes dispersos, que são protegidos por esclerênquimas (camadas de fibras), o qual pode prevenir a destruição do floema através do crescimento desordenado de células, havendo ainda a exsudação radicular que pode estar relacionada a excreção do herbicida e a

capacidade de aril-hidroxilação de 2,4-D, por exemplo. Outro mecanismo importante é a presença de meristemas intercalares, que favorece a movimentação lenta e restrita de auxina, possibilitando metabolização mais eficaz dos herbicidas mimetizadores de auxina (Roman *et al.*, 2005).

4.2 RESISTÊNCIA

Ao todo, são registrados no mundo 44 casos de resistências de plantas daninhas aos herbicidas mimetizadores de auxina, sendo 35 deles registrados para dicotiledôneas e 9 em plantas monocotiledôneas. Destes, 6 casos são apresentados no Brasil, em 4 diferentes espécies de plantas daninhas (Tabela 1): *Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*, *Conyza sumatrensis* e *Sagittaria montevidensis* (HEAP, 2024).

Tabela 1 - Casos de resistência aos herbicidas mimetizadores de auxina registrados no Brasil

Ano	Espécie	Mecanismos de ação	Ingredientes ativos	Cultura (situação)
1999	<i>Echinochloa crus-pavonis</i>	Mimetizadores de auxina	Quinclorac	Arroz
1999	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	Mimetizadores de auxina	Quinclorac	Arroz
2009	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	Mimetizadores de auxina, inibidores da ALS	Imazethapyr, bispyribac-sodium, quinclorac, penoxsulam	Arroz
2017	<i>Conyza sumatrensis</i>	Mimetizadores de auxina, inibidores da EPSPs, inibidores da PROTOX, inibidores do FSI e FSII	Diuron, paraquat, glyphosate, 2,4-D, saflufenacil	Soja
2018	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	Mimetizadores de auxina, inibidores da ALS, inibidores da síntese de celulose	Quinclorac, penoxsulam, florpyrauxifen	Arroz
2023	<i>Sagittaria montevidensis</i>	Mimetizadores de auxina	Florpyrauxifen	Arroz

Fonte: Heap (2024).

4.3 TRANSGENIA

Há mais de 20 anos, vêm sendo utilizadas no Brasil culturas que apresentam tolerância a herbicidas através da inserção de genes exógenos. A soja resistente a herbicidas é responsável por 35,5% das culturas transgênicas em campo no País (o que corresponde a mais de 56 milhões de hectares), seguida por milho e algodão.

A transgenia como um todo permite aos produtores um uso otimizado e prático dos produtos fitossanitários, podendo assegurar segurança dos alimentos e redução de custos de produção, além de, ainda, ser uma importante ferramenta no manejo de plantas daninhas resistentes, já que aumenta o espectro de possibilidades de produtos a serem aplicados, o que facilita o controle dessas plantas, ou mesmo reduz a pressão de seleção de biótipos resistentes.

No caso dos mimetizadores de auxina, há o Sistema Enlist® (Figura 4), desenvolvido e lançado pela Corteva Agriscience, implantado em soja, conferindo tolerância ao 2,4-D sob formulação de sal colina, glifosato e glufosinato de amônio. Implantado também em milho, conferindo tolerância ao 2,4-D sal colina, glifosato, glufosinato de amônio e ainda ao haloxifope. Há ainda a tecnologia Xtend® (Figura 5), lançada pela Bayer, a qual confere tolerância aos herbicidas dicamba e ao glifosato.

Figura 4 - Sistema Enlist®



Fonte: sem autor.

Figura 5 - Tecnologia Xtend®



Fonte: sem autor.

5 MISTURAS EM CALDA

A mistura de um mecanismo de ação com outro pode resultar em uma interação sinérgica, onde a atividade da mistura é superior ao efeito dos herbicidas isoladamente, antagônica, quando a atividade da mistura é menor que o controle utilizando os dois mecanismos separadamente, ou apenas aditivo, onde a mistura vai apresentar o mesmo efeito que os produtos aplicados isoladamente.

5.1 ANTAGONISMO

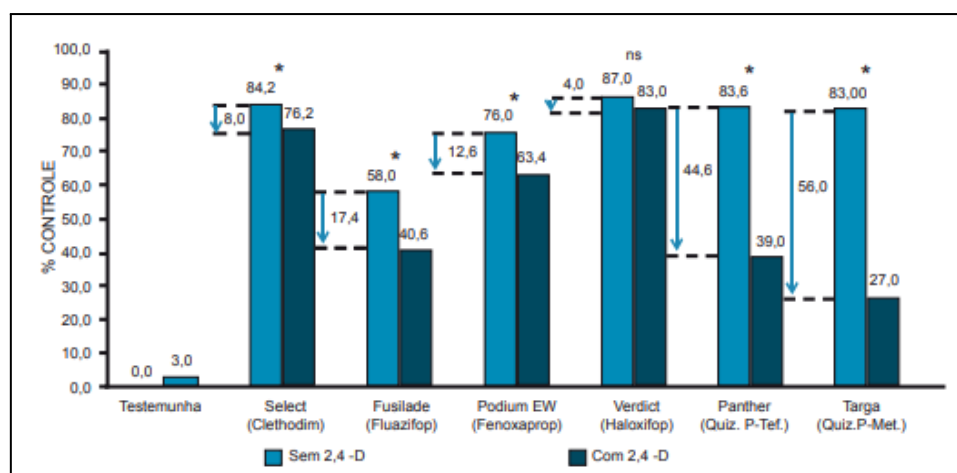
Uma mistura que representa uma relação antagônica já amplamente conhecida é a de associação de um herbicida de folha “estreita” com um de folha “larga”, sendo um grande desafio na agricultura operacionalmente falando, uma vez que economicamente, duas entradas de herbicidas pode ser inviável quando comparado com a apenas uma entrada já com esses dois herbicidas, em áreas que são infestadas tanto por folha estreita, quanto por folha larga.

Em um documento redigido por Melotto *et al.* (2016), foi desenvolvida a temática de “Tecnologia e Produção: Safra 2015/2016” pela Fundação MS. Uma das experimentações foi a respeito da eficiência de controle em valores percentuais aos 28 dias após a aplicação de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) por diferentes herbicidas sem e com a associação de 2,4-D, na cidade de Maracaju-MS.

Os tratamentos contaram com um tratamento como testemunha, um com o Select (clethodim), um com o Fusilade (fluazifop), um com o Podium EW (fenoxaprop), um com o Verdict (haloxyfop), um com o Panther e um com o Targa, todos com o resultado contendo e não contendo o 2,4-D.

Esta experimentação indicou que, em área onde se faz necessário a associação de um inibidor da ACCase e 2,4-D, o interessante seria a escolha do Select, Podium EW e Verdict, uma vez que ainda que apresente uma menor eficiência de controle quando associados, se trata de uma perda menos associada, como pode ser analisado na figura 6.

Figura 6 - Resultado da experimentação da associação de inibidores da ACCase com o 2,4-D.



Fonte: Melotto *et al.* (2016)

5.2 RELAÇÃO ADITIVA

Diante de um cenário de resistência de plantas daninhas ao glifosato, como a buva e o azevém, a associação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação se faz necessária. Dessa forma, em um experimento conduzido por Quadros *et al.* (2020), foram realizados tratamentos compostos por três associações de herbicidas aplicadas aos 40 dias antecedendo a semeadura da soja TMG 7062 IPRO, sendo eles:

- glifosato + setoxidim,
- glifosato + 2,4-D + setoxidim,
- glifosato + 2,4-D.

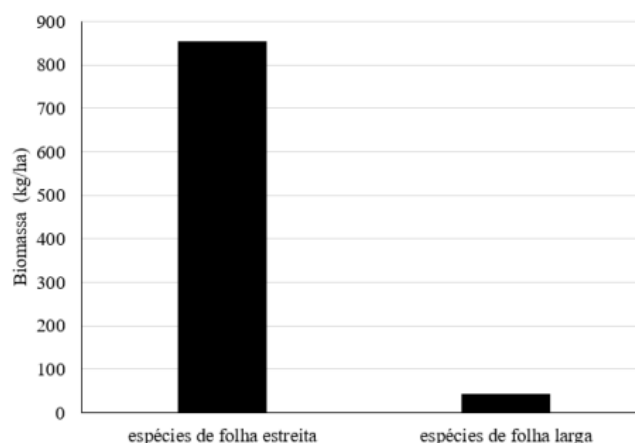
As daninhas encontradas foram as seguintes:

- folha estreita: azevém, rabo-de-burro, capim-milhã, capim-carrapicho e capim-branco;
- Folha larga: buva, erva-salsa, nabiça, trapoeraba, leiteiro, macela, serralha e picão-preto.

De início, na área pôde ser observado no dia da aplicação uma biomassa espécies de folha estreita de aproximadamente 850 kg/ha, enquanto de espécies de folha larga, de cerca de 30 kg/ha (Figura 7). A biomassa de plantas daninhas 75 dias após a dessecação pré-semeadura da soja, no caso de folhas estreitas, apresentou uma biomassa inferior a 15 kg/ha em todos os tratamentos, enquanto em folhas largas, os tratamentos com glifosato + 2,4-D + setoxidim e glifosato +

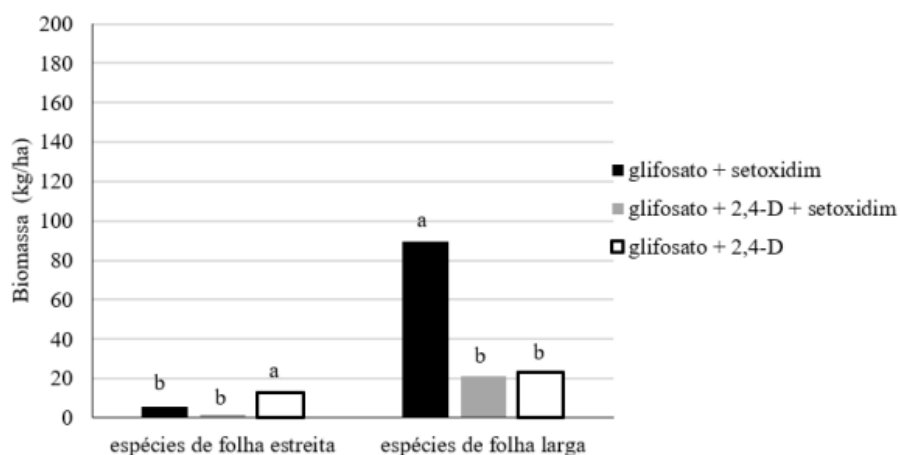
2,4-D controlaram e diminuíram a biomassa para 20 kg/ha. Já o tratamento de glifosato + setoxidim não deu conta de controlar as plantas daninhas de folha larga ali presentes, aumentando a sua biomassa para valores superiores a 80 kg/ha (Figura 8).

Figura 7 - Biomassa de plantas daninhas de folha estreita e larga no dia do tratamento



Fonte: Quadros *et al.* (2020).

Figura 8 - Biomassa de plantas daninhas de folha estreita e larga 75 dias após a dessecação com os três diferentes tratamentos



Fonte: Quadros *et al.* (2020).

As associações do glifosato com os herbicidas 2,4-D e setoxidim na dessecação pré semeadura da soja proporcionaram maior controle de plantas daninhas de folha larga e estreita, respectivamente. A relação entre estes herbicidas é considerada aditiva, uma vez que não se obteve resultados que indicassem

sinergismo ou antagonismo, especialmente para as plantas alvo, que eram a buva e o azevém.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A auxina foi o primeiro hormônio vegetal em plantas a ser estudado, apresentando uma estrutura relativamente simples, o que possibilitou os pesquisadores terem moléculas que podem ser usadas hoje como reguladoras de crescimento vegetal ou herbicidas na agricultura. Segundo levantamentos do IBAMA a respeito das vendas em toneladas de ingrediente ativo no ano de 2022, 2,4-D se apresentou como o segundo mais vendido.

Pensado em seus parâmetros físico-químicos e utilizando o 2,4-D como parâmetro, os herbicidas auxínicos são sistêmicos e seletivos usados para o controle de ervas daninhas de folhas largas. São altamente solúveis em água, voláteis e têm baixo potencial de lixiviação para as águas subterrâneas com base em suas propriedades químicas. Não é persistente no solo, mas pode persistir em sistemas aquáticos sob certas condições.

Em suma, as auxinas sintéticas atuam como reguladoras de crescimento, interferindo nos mecanismos de divisão e elongação celular por meio de desbalanços hormonais que levam ao aumento na biossíntese de etileno, giberelinas, citocininas e ácido abscísico. Elas são divididas em 4 grupos químicos, sendo eles o ácido benzoico (cujo exemplo de ingrediente ativo é o dicamba), ácido fenoxicarboxílico (com 2,4-D, flupyroxifen-benzyl e MCPA compondo o grupo), ácido carboxílico (exemplos de ingredientes ativos: aminopiralde, fluroxipir-meptílico, picloram e triclopir) e ácido quinolino carboxílico (cujo representante é o quincloraque).

Por fim, as misturas de calda que mais são faladas com os mimetizadores da auxina são as seguintes combinações: inibidores da ACCase + Auxínicos, e Glifosato + Auxínicos. Nos experimentos apresentados, pôde ser observado respectivamente que se tratam de relações antagônicas e aditivas.

REFERÊNCIAS

- DE CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. Lages: Edição do Autor, 2013. 62 p.
- GIRALDELI, A. L.. **Herbicidas Mimetizadores de Auxinas (Grupo O)**. 2019. Disponível em: <https://maissoja.com.br/herbicidas-mimetizadores-de-auxinas-grupo-o/>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. 2024. Disponível em: <https://www.weedscience.org/Summary/HRACPoster.aspx>. Acesso em: 08 jun. 2024.
- QUADROS, A. S. *et al.* **Associações de herbicidas na dessecação pré-semeadura da soja**. Santo Augusto-RS: Rev. Bras. Herb., v. 19, n. 2, e. 705, abr./jun., 2020.
- MELOTTO, A. M. *et al.* **Tecnologia e produção: Safra 2015/2016**. Curitiba: Midiograf, 2016
- PRESOTO, J. C. **Herbicidas mimetizadores de auxinas**. 2018. 7 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2018.
- ROMAN, E. S. *et al.* **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. 21. ed. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005. 152 p.
- TAIZ, L. *et al.* **Fundamentos da Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2021. 626 p.
- [s.a.]. **Plantas transgênicas: conheça os genes de tolerância a herbicidas**. 2022. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/noticias/tolerancia-a-herbicidas/>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- [s.a.]. **Sistema Enlist®**. 2023. Disponível em: <https://www.corteva.com.br/produtos-e-servicos/tecnologias/sistema-enlist.html>. Acesso em: 13 jun. 2024.