

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROJETANDO AGRICULTURA COMPROMISSADO EM SUSTENTABILIDADE
PROCESSO SELETIVO 2025.2

Afonso José Guedes Ming
Érico Varavallo Miranda

Herbicidas inibidores do crescimento inicial

PIRACICABA
2025

AFONSO JOSÉ GUEDES MING
ÉRICO VARAVALLO MIRANDA

Herbicidas inibidores do crescimento inicial

Revisão Bibliográfica apresentada
ao Grupo PACES – Projetando
Agricultura Compromissada em
Sustentabilidade da Escola
Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz”.

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

Coordenadores: Ricardo Fuchs de
Pinho e Sophia Bez Ribeiro

PIRACICABA
2025

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	4
2 CLASSIFICAÇÃO E MECANISMOS DE AÇÃO.....	6
2.1 INIBIDORES DO ARRANJO DE MICROTÚBULOS.....	7
2.2 INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE ÁCIDOS GRAXOS DE CADEIA MUITO LONGA.....	9
2.3 INIBIDORES DA ORGANIZAÇÃO DE MICROTÚBULOS.....	10
3 SINTOMAS E CULTURAS ALVO.....	12
4 RESISTÊNCIA.....	15
4.1 RESISTÊNCIA AOS HERBICIDAS INIBIDORES DE FORMAÇÃO DE MICROTÚBULOS.....	16
4.2 RESISTÊNCIA A INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE ÁCIDOS GRAXOS DE CADEIA MUITO LONGA.....	17
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
REFERÊNCIAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

Herbicidas são produtos químicos que possuem a função de inibir o crescimento ou causar morte às plantas daninhas, tais produtos necessitam de cuidado para manuseio e aplicação, tendo em vista que em doses recomendadas os herbicidas controlam um determinado grupo de espécies, mas se forem utilizadas dose maiores ou aplicações fora da época recomendada, esses produtos podem causar danos à própria cultura de interesse (Correia, 2021).

Os herbicidas podem ser utilizados antes ou após a emergência das plantas daninhas, no caso da aplicação depois da emergência da daninha, chamada de pós-emergência, o alvo de aplicação é a própria planta, e em caso de aplicação em pré-emergência, o alvo da aplicação é o solo, dessa forma assim que a semente da planta daninha germinar irá atingir o herbicida aplicado no solo (Correia, 2021).

Além disso, os produtos herbicidas possuem diferentes espectros de controle, podendo ser classificados como amplo espectro, graminicidas ou latifolicidas. Os produtos de amplo espectro podem ser usados para o controle de uma grande diversidade de daninhas, considerando que eles têm efeito sobre todas as plantas, os graminicidas são utilizados majoritariamente para o controle de espécies de plantas da família Poaceae, denominadas gramíneas, apesar de que também podem ser aplicados em algumas dicotiledôneas e outras monocotiledôneas (trapoeraba), já os latifolicidas são usados no controle de plantas de espécies do grupo das eudicotiledôneas, chamadas de “folhas largas”.

Os herbicidas também são divididos de acordo com seus mecanismos de ação, o que permite realizar recomendações técnicas considerando a classificação dos herbicidas, pretendendo planejar a rotação dos mecanismos de ação utilizados para prevenir casos de resistência (Gazziero, 2004). Os herbicidas são divididos entre os seguintes grupos:

- a) ACCase: inibidores da enzima acetil-coenzima-A Carboxilase;
- b) ALS: inibidores da enzima acetolactato sintase;
- c) AUXINA: hormonais - mimetizadores da auxina;
- d) CAROTENO: inibidores da síntese do caroteno;
- e) DIVISÃO CELULAR: inibidores da divisão celular;
- f) EPSPSs: inibidores da enzima enol-piruvil-shiquimato-fosfato sintase;

- g) FOTOSSÍNTESE: inibidores dos fotossistemas (FSI e FSII);
- h) GS: inibidores da enzima glutamina sintetase;
- i) PROTOX: inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase.

2 CLASSIFICAÇÃO E MECANISMOS DE AÇÃO

De acordo com Gazziero *et al.* (2004), os herbicidas inibidores do crescimento inicial fazem parte do grupo K (Figura 1) na tabela de mecanismos de ação de herbicidas, sendo comercializados no Brasil os subgrupos K1 e K3 (HRAC-BR, 2025).

Figura 1 - Tabela periódica dos herbicidas

TABELA PERIÓDICA DOS HERBICIDAS										
ACCase	Nome Comum					PROTOX				
Clodinafop Diclofop Fenoxaprop Fluazifop Haloxyfop Propaquizafop Quizalofop Clefoxydim Clethodim Sethoxydim Tepraloxydim A	CAROTENO	FOTOSSISTEMA (FS)				Acifluorfen Fomesafen Lactofen Oxyfluorfen Flumioxazin Flumiclorac Oxadiazon Sulfentrazone Carfentrazone E				
	Clomazone Isoxaflutole Norflurazon Mesotrione F	FS I	FS II							
		Diquat Paraquat D	Ametryne Atrazine Cyanazine Prometrine Simazine Metribuzin Hexazinone C1	Diuron Linuron Propanil Tebuthiuron* C2	Bentazon loxynil C3					
		Chlorimuron	Imazapic	Glyphosate Sulfosate G GLUTAMINA Amônio-glufosinato H	Raiz		Parte Aérea	2,4-D Dicamba Fluroxypyr Picloran Triclopyr Quinclorac O		
		Halosulfuron	Imazamox		Oryzalin		Molinate		Acetochlor	
		Metsulfuron	Imazapyr		Pendimethalin		Thiobencarb		Alachlor	
		Nicosulfuron	Imazaquin		Trifluralin				Dimethenamid	
		Oxasulfuron	Imazethapyr		Thiazopyr				Metolachlor	
		Pyrazosulfuron	Cloransulam							
		Bispyribac	Diclosulam							
		Azinsulfuron	Flumetsulam							
		Pyrithiobac	Flazasulfuron							
		Iodosulfuron	Etoxysulfuron							
		Foramsulfuron								
		B					K1		N	K3

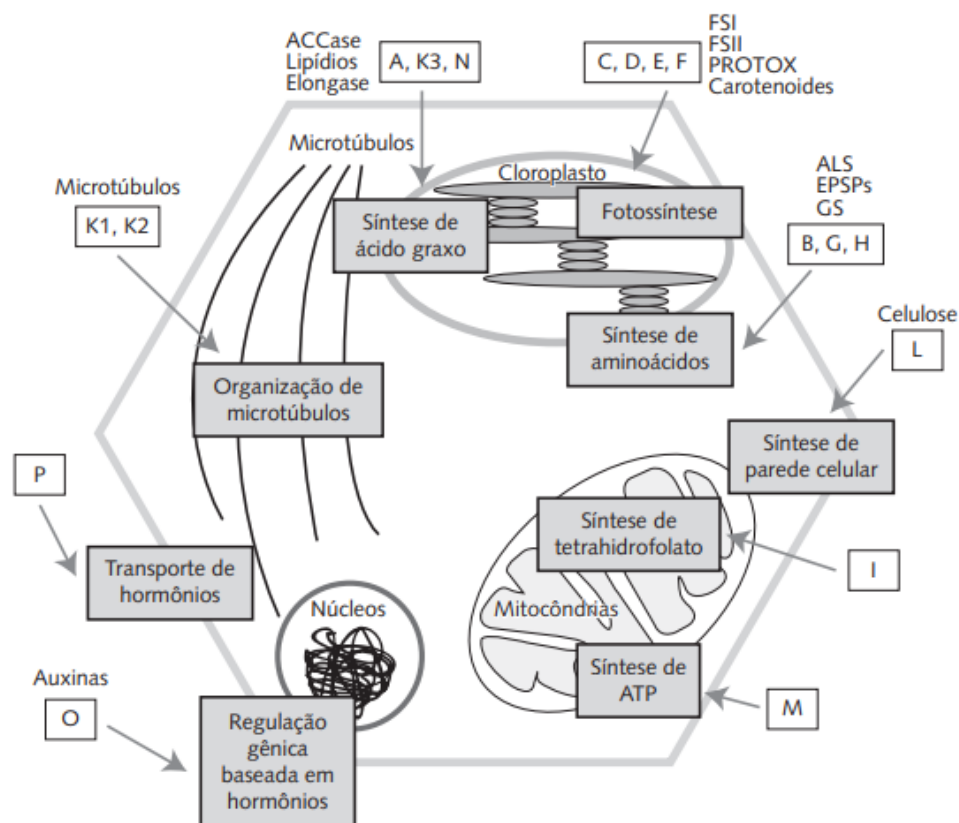
Fonte: Gazziero (2004).

Os grupos K1 e K2 atuam inibindo o arranjo de microtúbulos, e o grupo K3 é responsável por inibir a biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa, estando esses princípios relacionados ao processo de divisão celular (HRAC-BR, 2025).

O esquema da figura 2, evidencia os principais locais onde os mecanismos de ação dos herbicidas atuam, em uma célula (Mendes; Silva; Mielke, 2019). Apresentando a funcionalidade dos grupos, K1, e K2 na organização de microtúbulos, e o subgrupo K3 na síntese de ácidos graxos, em conjunto com os subgrupos A e N (HRAC-BR, 2025).

]

Figura 2 - Mecanismos de ação de herbicidas



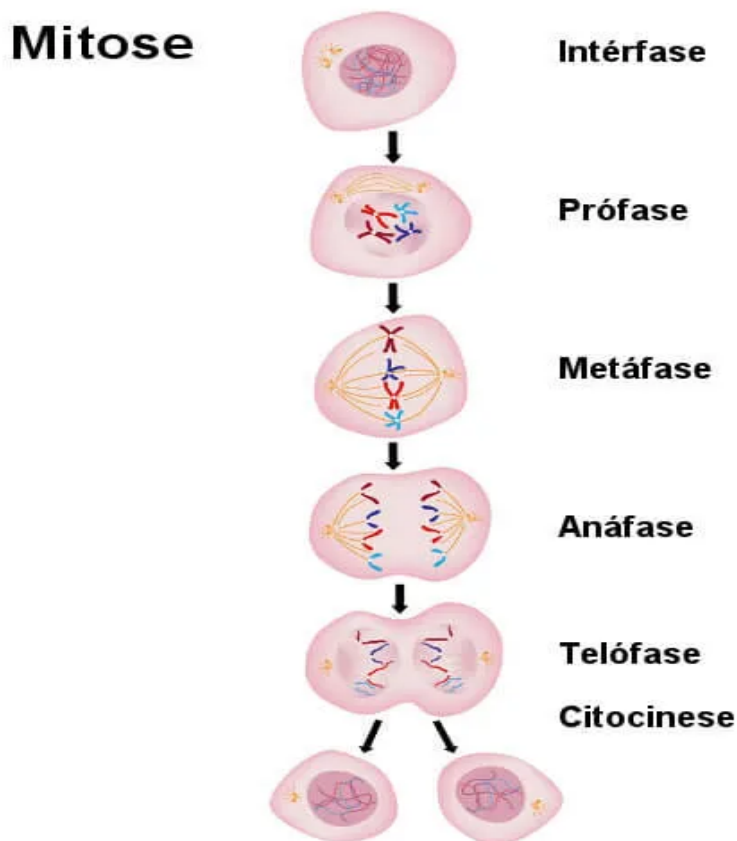
Fonte: Mendes, Silva e Mielke (2019).

Os herbicidas inibidores do crescimento inicial costumam possuir como característica baixa mobilidade nas plantas, sendo utilizados diretamente nos solos, incorporados a fim de evitar a volatilização do produto. Tais herbicidas, por vez, atuam como pré-emergentes, atuando principalmente no controle de gramíneas anuais, e por vez, algumas espécies de plantas daninhas de folha larga (Christoffoleti *et al.*, 2016).

2.1 INIBIDORES DO ARRANJO DE MICROTÚBULOS

A divisão celular pode ser dividida em interfase, prófase, metáfase, anáfase, telófase e citocinese (Figura 3), sendo os inibidores do arranjo de microtúbulos herbicidas que se ligam no lugar das tubulinas, principais proteínas constituintes dos microtúbulos. Atuando assim na etapa de prófase (Bunde, 2025).

Figura 3 - Esquema mitose



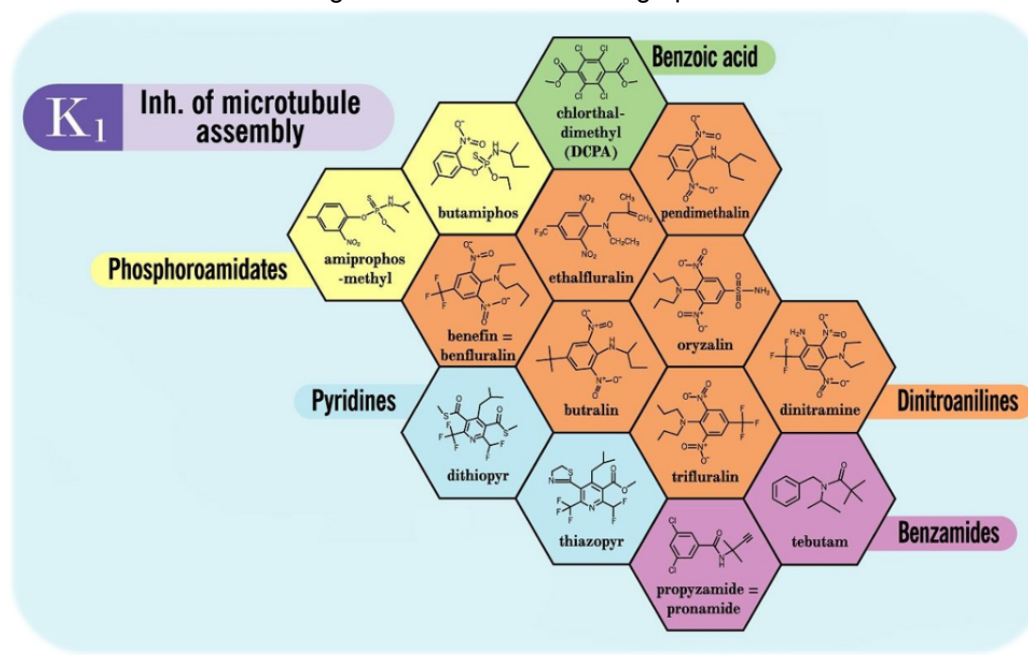
Fonte: Bunde (2025).

Como consequência disso, ocorre o impedimento da síntese de fibras. Sendo os microtúbulos responsáveis por orientar os cromossomos na fase de anáfase, com a ação desse grupo de herbicidas, há o impedimento da divisão celular, bem como a formação de células multinucleadas (Bunde, 2025). Dessa forma, a planta passa a ter problemas de desenvolvimento, havendo dificuldade em desenvolver tecidos vegetais novos (Christoffoleti *et al.*, 2016).

A ação desses herbicidas pode afetar os tecidos meristemáticos a ponto de impedir que até mesmo ocorra a emergência da plântula. E, caso esta germine, eventualmente acabará morrendo (Christoffoleti *et al.*, 2016).

A figura 4 apresenta as principais moléculas relacionadas ao subgrupo K1, inibidores do arranjo de microtúbulos. Sendo dividido principalmente em dinitroanilinas, piridinas, benzamidas e ácido benzoico (HRAC, 2021).

Figura 4 - Moléculas do subgrupo K1



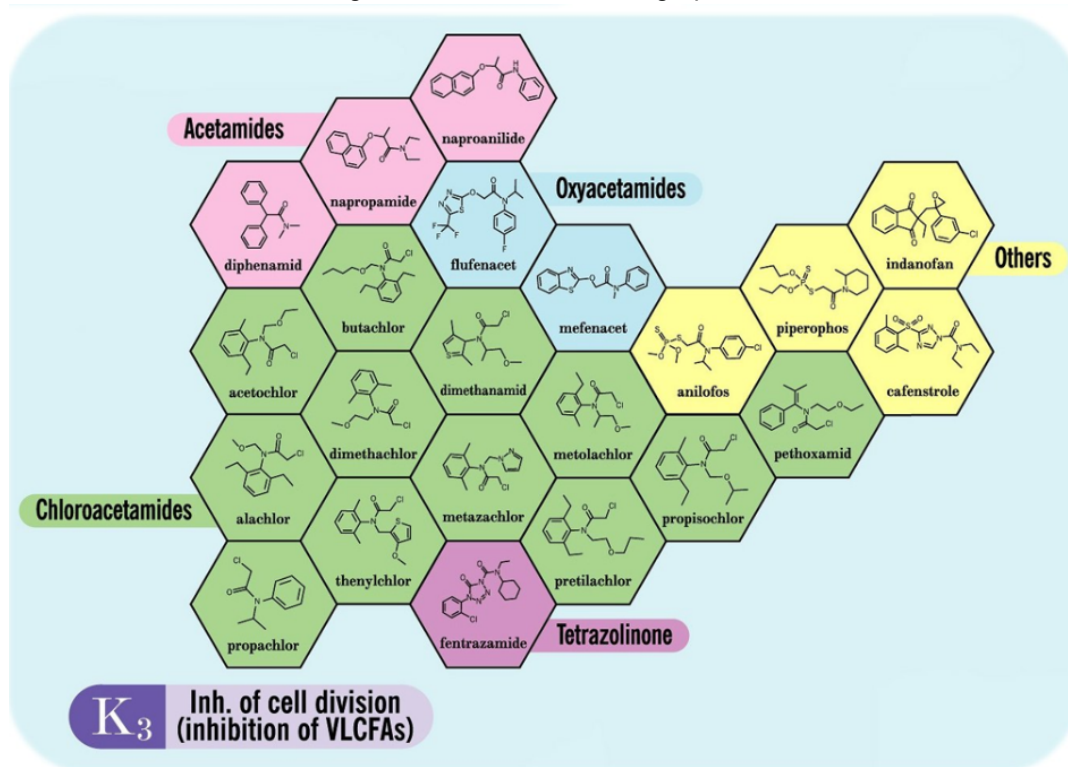
Fonte: HRAC (2021).

2.2 INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE ÁCIDOS GRAXOS DE CADEIA MUITO LONGA

Apesar de não ser um mecanismo de ação, teve seu funcionamento totalmente esclarecido. O consenso geral indica que os herbicidas pertencentes ao grupo K1 estão relacionados à inibição da divisão celular, como resultado afetando a síntese de ácidos nucleicos e proteínas (Marchi, 2008). Atuando na degradação de aminoacil tRNAs, que como consequência inibe a síntese de proteínas, ácidos graxos, lipídeos, terpenos, ceras constituintes da cutícula e flavonoides (Christoffoleti *et al.*, 2016).

A morte das células das plantas por vez é decorrente da ação interferente na divisão celular, bem como do controle hormonal. Assim como demonstrado na figura 5, o subgrupo K3 pode ser dividido em cinco principais grupos de moléculas: cloroacetamidas, acetamidas, oxiacetamidas, tetrazolinonas, tioacetamidas e isoxazolinonas (Christoffoleti *et al.*, 2016).

Figura 5 - Moléculas do subgrupo K3



Fonte: HRAC (2021).

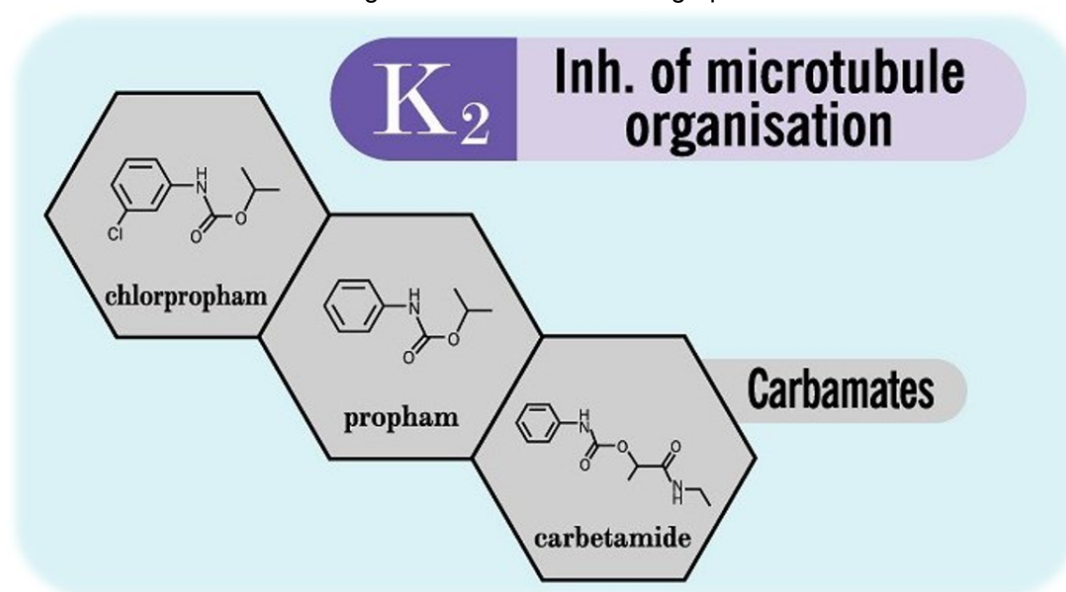
Esses herbicidas, por sua vez, possuem como principal função a utilização no solo, para a função de pré-emergentes, o que se deve à sua baixa lixiviação (quando em solos não arenosos). Além disso, possuem como característica solubilidade intermediária em água. São também considerados herbicidas não ionizáveis (Christoffoleti *et al.*, 2016).

2.3 INIBIDORES DA ORGANIZAÇÃO DE MICROTÚBULOS

No Brasil, são comercializados apenas os subgrupos químicos K1 e K3, entretanto, além deles existe outro subgrupo, o K2, que atua na inibição da mitose das plantas, agindo de maneira similar ao grupo K1, com a diferença de que, enquanto este é expresso por moléculas responsáveis por afetar a montagem dos microtúbulos, o grupo K2 afeta a sua organização. Ou seja, ocorre a produção dos microtúbulos, entretanto, sua organização passa a ocorrer de maneira errônea (Christoffoleti *et al.*, 2016).

Ao contrário dos anteriores, o subgrupo K2 é expresso somente por um grupo químico, os carbamatos (Figura 6) (HRAC, 2021). Sua ausência na tabela periódica é decorrente da sua pouca funcionalidade para o Brasil, visto que não existem K2 registrados para o País. Tendo em vista que a tabela da Embrapa não é a tabela oficial HRAC/WSS, ao ser realizada sua estruturação, foi dado enfoque prático, e não acadêmico por parte da Embrapa, de modo que a presente revisão descreva somente subgrupos que são de importância aos produtores brasileiros (Christoffoleti *et al.*, 2016).

Figura 6 - Moléculas do subgrupo K2



Fonte: HRAC, 2021.

3 SINTOMAS E CULTURAS ALVO

De acordo com Ferreira, Lamas e Procópio (2007), a utilização de herbicidas inibidores do crescimento como S-metolacoloro, que faz parte das cloroacetamidas (subgrupo K3) possui potencial em afetar o desenvolvimento das plantas principalmente por consequência da inibição do crescimento das radículas ou raízes. Como consequência, a emergência pode ser impedida ou, se ocorrer, as plântulas apresentam porte reduzido. Além disso, causa-se também intumescimento dos tecidos, enrolamento do caulículo, clorose, necrose, dificuldade de abertura do coleóptilo e enrugamento das folhas definitivas. Sendo o último decorrente do menor crescimento da nervura central em relação ao crescimento do limbo foliar (Barroso; Murata, 2025).

A figura 7 demonstra visualmente o aspecto de desenvolvimento de sementes de algodão o qual emitiria radícula, em solo arenoso no qual foi aplicado o S-metolacoloro. Sendo a extremidade esquerda uma planta de testemunha, a qual não teve contato com o produto (Ferreira; Lamas; Procópio, 2007).

Figura 7 - Comparativo entre plântula sem aplicação de S-metolacoloro (à esquerda) e plântulas que sofreram efeito do produto (à direita)



Fonte: Ferreira, Lamas e Procópio (2007).

Quanto à figura 8, demonstra-se visualmente o aspecto de desenvolvimento de plântulas de algodão, em solo arenoso o qual foi aplicado o S-metolacoloro. Sendo a extremidade esquerda uma planta de testemunha, a qual não teve contato com o produto (Ferreira; Lamas; Procópio, 2007).

Figura 8 - Comparativo de efeito do S-metolacoloro em plântulas com aplicação (à direita) e sem (à esquerda)



Fonte: Ferreira, Lamas e Procópio (2007).

Por fim, a figura 9 evidencia os sintomas de fitotoxidez do herbicida S-metolacoloro, aplicado em pré-emergência, sobre as folhas cotiledonares das plântulas de algodão, em solo arenoso (Ferreira; Lamas; Procópio, 2007).

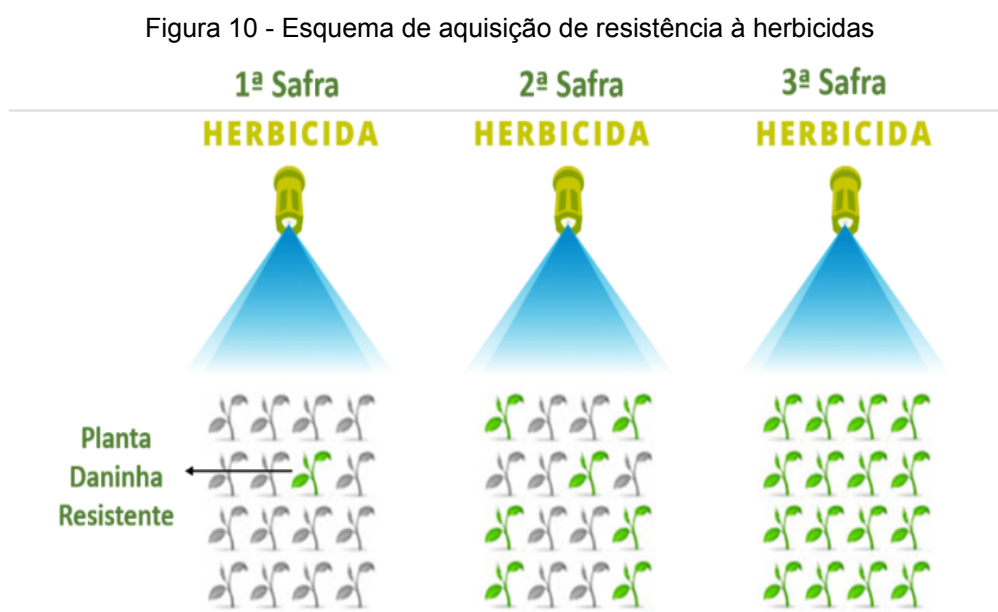
Figura 9 - Efeito do S-metolaclocloro aplicado em pré-emergência



Fonte: Ferreira, Lamas e Procópio (2007).

4 RESISTÊNCIA

De acordo com Christoffoleti *et al.* (2016), plantas resistentes podem ser descritas como sendo populações que apresentam respostas estatisticamente diferentes após aplicação de um herbicida, quando comparadas com a média das respostas de várias populações suscetíveis. Geralmente essas populações resistentes possuem características favoráveis à sobrevivência e adaptabilidade a um determinado herbicida (Ribeiro, 2020), como alteração do local de ação, metabolização do herbicida ou compartimentalização, que resultam em uma melhor interação das plantas com os produtos, assim dificultando seu controle. Ao longo do tempo, a má utilização de um herbicida pode, assim, resultar na seleção de fenótipos resistentes ao produto aplicado (Christoffoleti *et al.*, 2016).



Fonte: Ribeiro (2020).

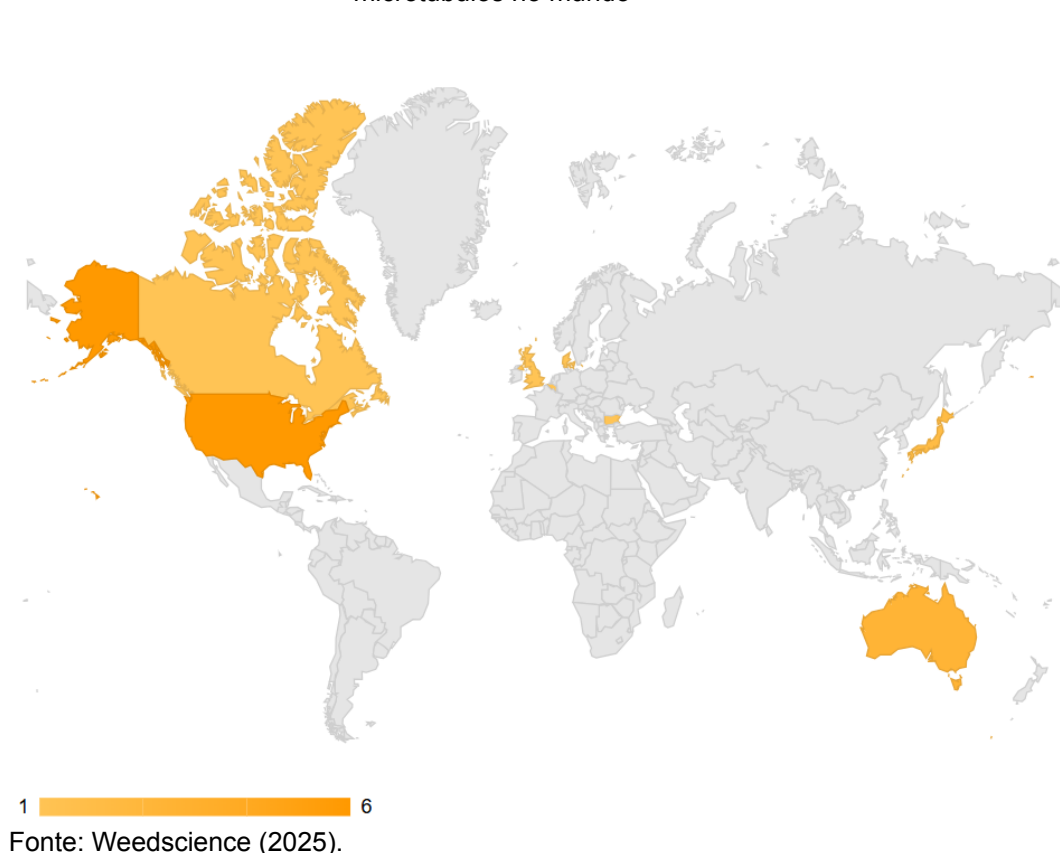
Afim de amenizar a ocorrência de resistências, tanto em inibidores do crescimento inicial quanto em quaisquer mecanismos de ação, pode-se utilizar de uma abordagem que possui como princípios a rotação de mecanismos de ação, a realização aplicações sequenciais, o uso de misturas de herbicidas com diferentes mecanismos de ação e de destoxificação, o uso de herbicidas de menor pressão de seleção (baixo residual e amplo espectro), a rotação de culturas e sistemas de cultivo e a realização do monitoramento e MIPD (Ribeiro, 2020; Christoffoleti *et al.*, 2016).

4.1 RESISTÊNCIA AOS HERBICIDAS INIBIDORES DE FORMAÇÃO DE MICROTÚBULOS

Como dissertado anteriormente, os inibidores de formação de microtúbulos agem ligando-se às tubulinas, proteínas componentes dos microtúbulos, despolimerizando-os, o que gera desconfiguração física e perda de função. Como consequência, são afetadas a migração de cromossomos, a diferenciação e a formação da estrutura celular, a orientação e a organização das microfibrilas de celulose e a formação da parede celular (Christoffoleti *et al.*, 2016).

Estudos indicam que certas espécies de plantas possuem resistência aos produtos em decorrência de mutações nos pares de bases de aminoácidos que codificam a formação da proteína tubulina (Christoffoleti *et al.*, 2016). Os principais locais onde ocorreram registros de resistência são representados na figura 11 (WeedScience, 2025).

Figura 11 - Distribuição de registros de resistência a herbicidas inibidores de formação de microtúbulos no mundo



4.2 RESISTÊNCIA A INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE ÁCIDOS GRAXOS DE CADEIA MUITO LONGA

Segundo Christoffoleti *et al.* (2016), há mais de cinquenta anos, essa classe de herbicidas vem sendo utilizada em larga escala na agricultura, entretanto não existem muitos casos de resistência, restringindo-se somente a 10 casos ao redor do mundo. Em todos os casos o mecanismo de resistência foi dado pela metabolização dos herbicidas em *Lolium rigidum* (Austrália), *Echinochloa crus-galli* (China), *Avena fatua* (Canadá) e *Alopecurus myosuroides* (Alemanha) (Christoffoleti *et al.*, 2016). Também se observou o aumento da produção da enzima P450, glutatona, glucose e aminoácidos pela enzima glutatona-S transferase (Barroso; Murata, 2025).

Além disso, no Canadá, foram determinados, na espécie *Avena fatua*, um mecanismo de resistência, decorrente da alta produção de giberelina que resulta em um alto rápido desenvolvimento do meristema apical. Portanto, nessa espécie, há maior probabilidade de haver regeneração e sobrevivência aos herbicidas do subgrupo K3 (Christoffoleti *et al.*, 2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os herbicidas inibidores de crescimento inicial, denominados de grupo K, são uma importante alternativa para o controle de daninhas, principalmente em pré-emergência, sendo divididos em subgrupos, que são: K1, K2 e K3. Os subgrupos K1 e K2 são caracterizados por interferirem na formação e organização dos microtúbulos, já o subgrupo K3 é responsável por inibir a biossíntese de ácidos graxos de cadeia muito longa.

De modo geral, os subgrupos K1 e K3 são mais significativos no mercado, dentre os seus efeitos podemos destacar inibição do crescimento de raízes, intumescimento dos tecidos e até mesmo a não emergência das plântulas.

Com as informações mostradas no presente trabalho, é possível inferir que o entendimento sobre mecanismos de ação diferentes e processos de resistência é fundamental para a realização de práticas de manejo integrado, como, por exemplo, a rotação de mecanismos de ação de herbicidas, visando conservar a eficácia dessas moléculas. O uso consciente e técnico dos inibidores do crescimento inicial é importante para um manejo de plantas daninhas sustentável e eficaz.

REFERÊNCIAS

BARROSO, Arthur Arrobas Martins; MURATA, Afonso Takao. **Matologia**. 2025. Disponível em:

https://www.matologia.com/_files/ugd/1a54d2_6bdc1f90aa6b47f6bb787706b381084e.pdf#page=170. Acesso em: 11 ago. 2025.

Bunde, Mateus. Mitose. **Todo Estudo**. Disponível em:

<https://www.todoestudo.com.br/biologia/mitose>. Acesso em: 11 de August de 2025.

CARVALHO, Leonardo Bianco de. **HERBICIDAS**. 2013. Disponível em:

file:///D:/Dados%20Samsung/Downloads/livro_herbicidas.pdf. Acesso em: 08 ago. 2025.

CORREIA, Núbia Maria. **Herbicidas**. Brasília: Embrapa Cerrado, 2021.

CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob *et al.* **ASPECTOS DE RESISTÊNCIA DE PLANTAS**

DANINHAS A HERBICIDAS. 4. ed. Piracicaba: Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Divisão de Biblioteca e Documentação- Dibd/Esalq/Usf, 2016. 262 p.

Disponível em: https://upherb.com.br/ebook/livro_Hrac.pdf. Acesso em: 09 ago. 2025.

FERREIRA, Alexandre Cunha de Barcellos; LAMAS, Fernando Mendes; PROCÓPIO, Sérgio de Oliveira. **Sintomas de Fitotoxidez de Herbicidas no Algodoeiro**. 2007.

Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/277534/1/CIRTEC109.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2025.

GAZZIERO, Dionísio L. P.. **TABELA PERIÓDICA DOS HERBICIDAS**. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

MENDES, Kassio Ferreira; SILVA, Antonio Alberto da; MIELKE, Kamila Cabral.

Classificação, seletividade e mecanismos de ação de herbicidas. 2019. Disponível em:

https://konektacommerce.nyc3.cdn.digitaloceanspaces.com/TEXT_SAMPLE_CONTENT/plantas-daninhas-vol2-herbicidas-261800-1.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.

MARCHI, Giuliano. **Herbicidas: Mecanismos de ação e uso**. 2008. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/571939/1/doc227.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

RIBEIRO, Carlos. **Plantas Daninhas: 10 dicas para aumentar a eficiência no controle da praga**. 2020. Disponível em:

<https://blog.sensix.ag/10-dicas-para-aumentar-a-eficiencia-no-controle-de-plantas-daninhas/>. Acesso em: 11 ago. 2025.

HRAC. **HRAC Mode of Action Classification 2021**. 2021. Disponível em:

<https://www.weedscience.org/Images/MOAPoster/moaposter.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

HRAC-BR, Comitê de Ação A Resistência Aos Herbicidas. **MECANISMOS DE AÇÃO**

DOS HERBICIDAS. 2025. Disponível em: <https://www.hrac-br.org/mecanismosdeacao>.

Acesso em: 11 ago. 2025.

WEEDSCIENCE. **CASOS RESISTENTES A K1 (INIBIDÃO DA MONTAGEM DE MICROTÚBULOS) EM TODO O MUNDO**. 2025. Disponível em: <https://www.weedscience.org/Graphs/GeoChart.aspx>. Acesso em: 11 ago. 2025.