Referências próxima aula
- Impacto ambiental
- Regulagem de pulverizadores

25 - Artigo para Leitura -

Christoffoleti, P.J.; Lopes-Ovejero, R.R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas a herbicidas. Planta Daninha. v. 21, n.3, p. 507-515, 2003.

26 - Artigo para Leitura -

Oliveira, M.F.; Brighenti, A.M. Comportamento dos herbicidas no solo. In R.S. Oliveira Jr. et al. (Eds.) Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, p. 263 a 304, 2011

27 - Artigo para Leitura -

Cordeiro, C.A. et al. Regulagem e calibração de pulverizadores agrícolas. Apostila do curso de Tecnlogia de Aplicação da Conam, disponível em http://www.comam.com.br/literatura/RegulagemCalibracaoPulverizadoresAgricolas.pdf.

Resistência de plantas daninhas a herbicidas

1- Definições

"é a capacidade herdável de uma planta sobreviver e reproduzir após à exposição a um herbicida, que normalmente seria letal para a população original (suscetível)"

- ✓ Plantas resistentes ocorrem naturalmente em baixa freqüência
- ✓ A pressão de seleção exercida pelo herbicida aumenta a freqüência das plantas resistentes

https://www.youtube.com/watch?v=4bm57UxgBxk

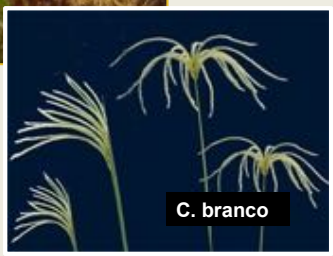
Padrão de ocorrência de plantas daninhas resistentes a herbicidas no campo

Falha do herbicida devida a resistência:

- ✓ manchas com alta densidade no centro diminuindo para fora
- ✓ escapes em diferentes direções sem padrão definido na gleba
- ✓ sempre se tratando da mesma planta daninha.

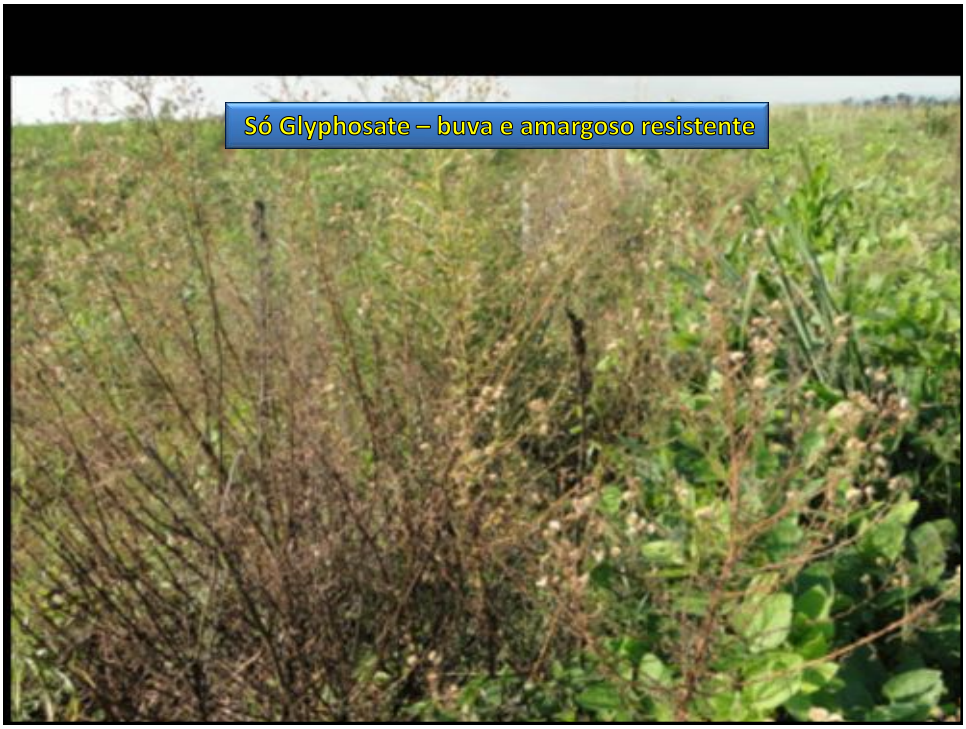
Picão-preto resistente aos herbicidas inibidores da ALS em soja

Plantas daninhas resistentes ao glifosato no Brasil



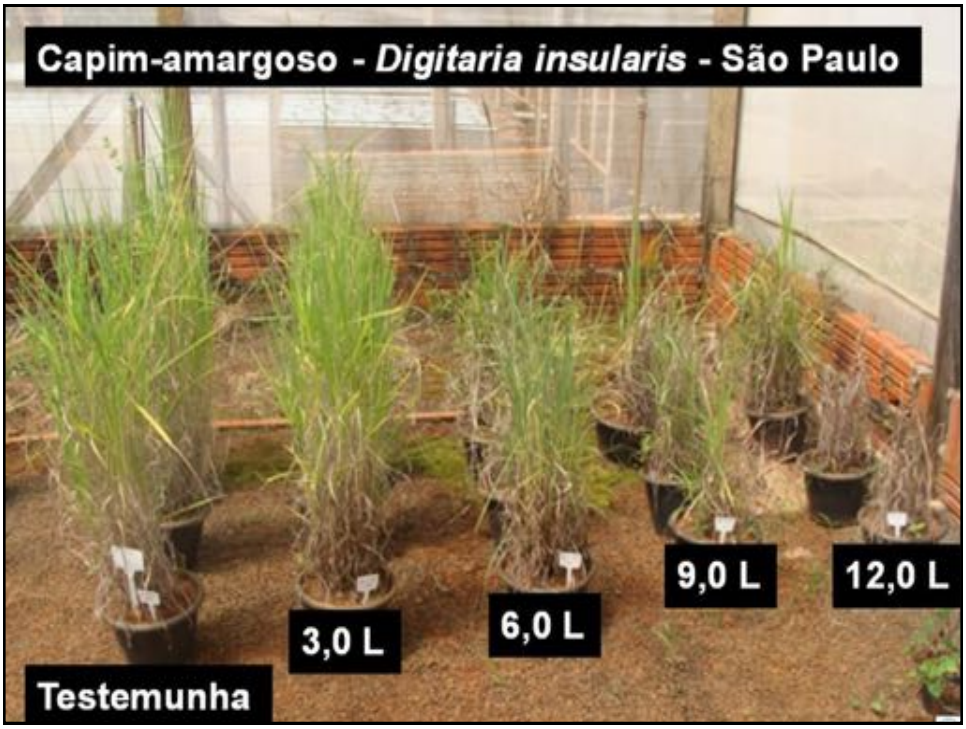
Capim amargoso – resistente a glyphosate
Londrina – PR -2005

Buva e amargoso juntos = COMUM


Só Glyphosate – buva e amargoso resistente

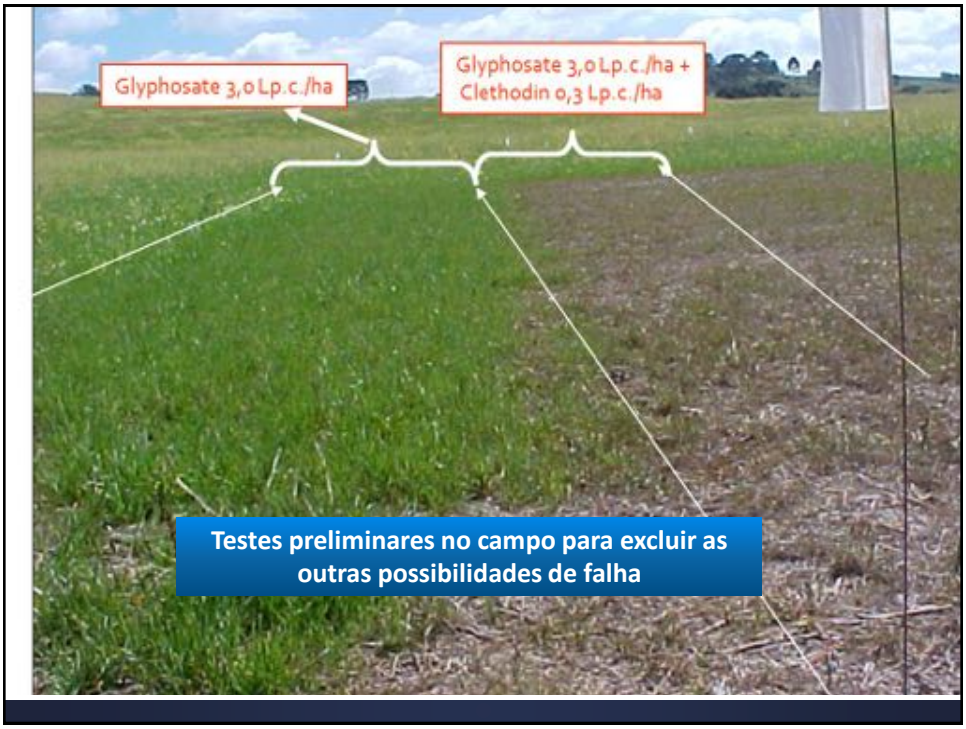
Capim-amargoso *(Digitaria insularis)*
Só Glyphosate

5 kg WG
60 DAT
Alternativo
60 DAT

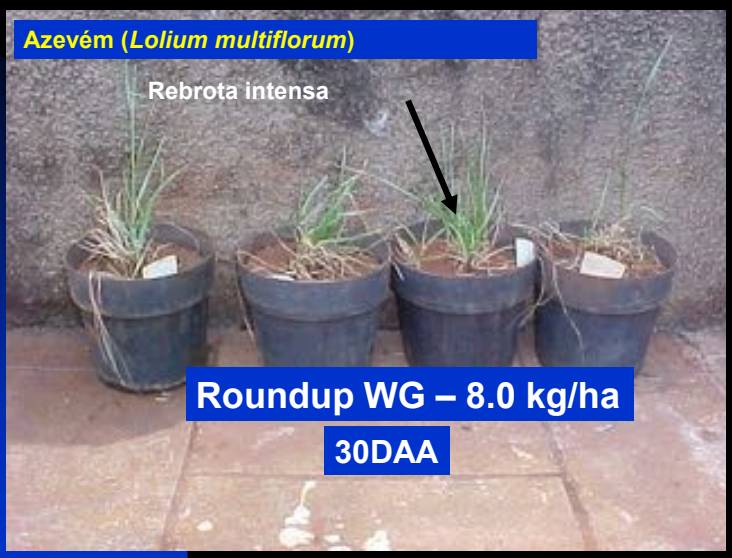

Capim-amargoso - *Digitaria insularis* - São Paulo
Testemunha
3,0 L
6,0 L
9,0 L
12,0 L

Capim-amargoso - *Digitaria insularis* - Uberlândia, MG
Pousio, que sucedeu área de soja infestada com amargoso

Azevém resistente a glyphosate no RS


Glyphosate 3,0 Lp.c./ha
Glyphosate 3,0 Lp.c./ha +
Clethodin 0,3 Lp.c./ha
Testes preliminares no campo para excluir as outras possibilidades de falha

Azevém (*Lolium multiflorum*)
Roundup WG – 4.0 kg/ha
30 DAA



10/05/2015 pjchrist@esalq.usp.br 17

Exemplo de evolução da resistência de picão-preto aos inibidores da ALS

Bidens pilosa – picão-preto

Chlorimuron – 50 g/ha	Chlorimuron – 50 g/ha	Chlorimuron – 50 g/ha
População suscetível	6 anos de seleção	10 anos de seleção

Resistência da buva ao glyphosate

Resistência da buva ao glyphosate

Sintomas de glyphosate em plantas resistentes de buva

https://www.youtube.com/watch?v=59lXRnAT1WY

Outras definições importantes

Sítio de ação (SDA) e Mecanismo de Ação (MDA) de um herbicida

- ✓ Processo metabólico ou fisiológico específico da reação principal de atuação na morte da planta
- ✓ Onde e como um herbicida atua na morte da planta

Resistência cruzada da planta daninha

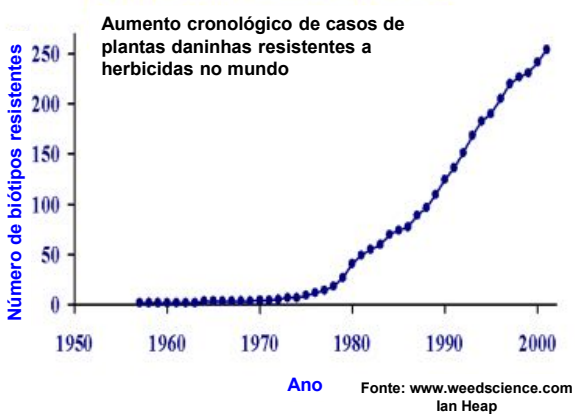
- ✓ resistência a herbicidas com o mesmo SDA, mesmo que o segundo herbicida nunca tenha sido utilizado

Resistência múltipla da planta daninha

- ✓ resistência a mais de um herbicida com diferentes MDA/SDA

Resistência de plantas daninhas a herbicidas

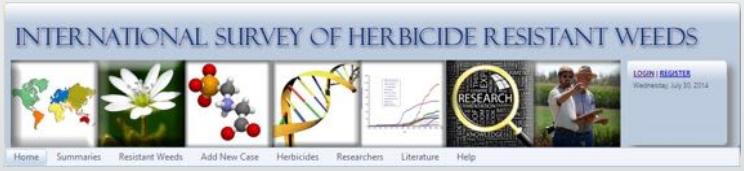
2- Ocorrência



Fonte: www.weedscience.com
Ian Heap

Situação atual no mundo – Resistência de plantas daninhas a herbicidas

- ✓ 434 casos inéditos (espécie x sítio de ação)
- ✓ 237 espécies (138 dicotiledôneas e 99 monocotiledôneas)
- ✓ 22 dos 25 sítios de ação conhecidos de herbicidas
- ✓ 155 diferentes herbicidas
- ✓ 82 culturas em 65 países
- ✓ Relatado por 1885 usuários registrados e 439 cientistas de plantas daninhas
- ✓ http://www.weedscience.org

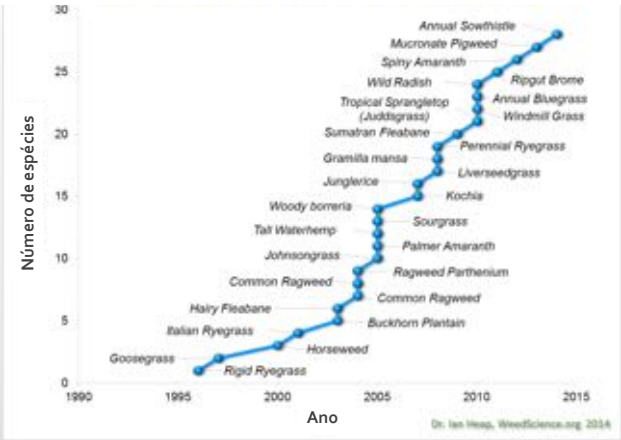


Herbicide-Resistant Weeds by Site of Action

#	Herbicide Group	HRAC Group	Example Herbicide	Dicots	Monocots	Total
1	ALS inhibitors	B	Chlorsulfuron	86	58	146
2	Photosystem II inhibitors	C1	Atrazine	49	23	72
3	ACCase inhibitors	A	Sethoxydim	0	46	46
4	PSI Electron Diverter	D	Paraquat	22	9	31
5	EPSP synthase inhibitors	G	Glyphosate	16	15	31
6	Synthetic Auxins	O	2,4-D	22	8	30
7	PSII inhibitor (Ureas and amides)	C2	Chlorotoluron	8	17	25
8	Microtubule inhibitors	K1	Trifluralin	2	10	12
9	Lipid Inhibitors (thiocarbamates)	N	Triallate	9	9	9
10	PPO inhibitors	E	Oxyfluorfen	4	2	6
11	Carotenoid biosynthesis (unknown target)	F3	Amitrole	1	4	5
12	PSII inhibitors (Nitriles)	C3	Bromoxynil	3	1	4
13	Long chain fatty acid inhibitors	K3	Butachlor	0	4	4
14	Carotenoid biosynthesis inhibitors	F1	Diflufenican	2	1	3
15	Antimicrotubule mitotic disrupter	Z	Flamprop-methyl	0	3	3
16	HPPD inhibitors	F2	Isoxaflutole	2	0	2
17	Glutamine synthase inhibitors	H	Glufosinate-ammonium	0	2	2
18	Cellulose inhibitors	L	Dichlobenil	0	2	2
19	Mitosis inhibitors	K2	Propham	0	1	1
20	Unknown	Z	Endothall	0	1	1
21	Cell elongation inhibitors	Z	Diflenzoquat	0	1	1
22	Nucleic acid inhibitors	Z	MSMA	1	0	1
				222	215	437

Heap, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. Monday, December 08, 2014 . Available www.weedscience.org

Aumento de casos de plantas daninhas resistentes ao glyphosate - mundial



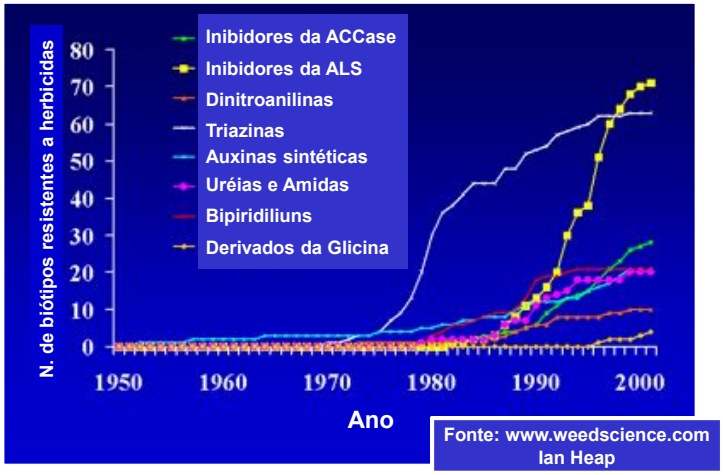
Principais casos de resistência no Brasil

1	*Amaranthus retroflexus*	Caruru	Redroot Pigweed	2011	**Multiple Resistance: 2 Sites of Action** ALS inhibitors (B/2) Photosystem II inhibitors (C1/5)
2	*Amaranthus retroflexus*		Redroot Pigweed	2012	ALS inhibitors (B/2)
3	*Amaranthus viridis*		Slender Amaranth	2011	**Multiple Resistance: 2 Sites of Action** ALS inhibitors (B/2) Photosystem II inhibitors (C1/5)
4	*Avena fatua*	Aveia brava	Wild Oat	2010	ACCase inhibitors (A/1)
5	*Bidens pilosa*	Picão preto	Hairy Beggarticks	1993	ALS inhibitors (B/2)
6	*Bidens subalternans*		Greater Beggarticks	1996	ALS inhibitors (B/2)
7	*Bidens subalternans*		Greater Beggarticks	2006	**Multiple Resistance: 2 Sites of Action** ALS inhibitors (B/2) Photosystem II inhibitors (C1/5)
8	*Chloris elata*	Chloris	Tall Windmill Grass	2014	EPSP synthase inhibitors (G/9)
9	*Conyza bonariensis*	Buva	Hairy Fleabane	2005	EPSP synthase inhibitors (G/9)
10	*Conyza canadensis*		Horseweed	2005	EPSP synthase inhibitors (G/9)
11	*Conyza sumatrensis*		Sumatran Fleabane	2010	EPSP synthase inhibitors (G/9)
12	*Conyza sumatrensis*		Sumatran Fleabane	2011	ALS inhibitors (B/2)
13	*Conyza sumatrensis*		Sumatran Fleabane	2011	**Multiple Resistance: 2 Sites of Action** ALS inhibitors (B/2) EPSP synthase inhibitors (G/9)

14	*Cyperus difformis*	Junquinho	Smallflower Umbrella Sedge	2000	ALS inhibitors (B/2)
15	*Digitaria ciliaris*	Capim colchão	Southern Crabgrass	2002	ACCase inhibitors (A/1)
16	*Digitaria insularis*	Capim amargoso	Sourgrass	2008	EPSP synthase inhibitors (G/9)
17	*Echinochloa crus-galli var. crus-galli*	Capim arroz	Barnyardgrass	1999	Synthetic Auxins (O/4)
18	*Echinochloa crus-galli var. crus-galli*		Barnyardgrass	2009	**Multiple Resistance: 2 Sites of Action** ALS inhibitors (B/2) Synthetic Auxins (O/4)
19	*Echinochloa crus-pavonis*		Gulf Cockspur	1999	Synthetic Auxins (O/4)
20	*Eleusine indica*	Capim pé de galinha	Goosegrass	2003	ACCase inhibitors (A/1)
21	*Euphorbia heterophylla*	Amendoin bravo	Wild Poinsettia	1993	ALS inhibitors (B/2)
22	*Euphorbia hetero*		Wild Poinsettia	2004	**Multiple Resistance: 2 Sites of Action** ALS inhibitors (B/2) PPO inhibitors (E/14)

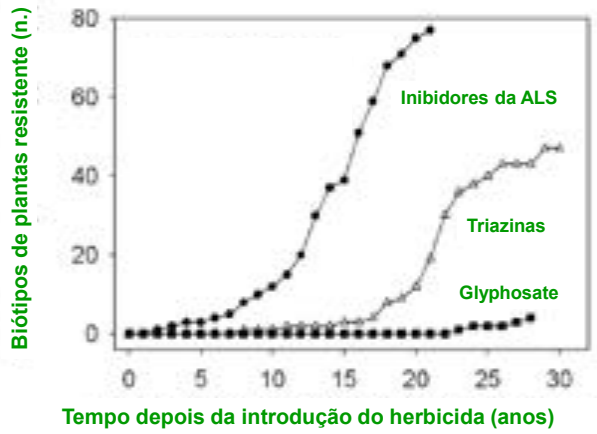
23	Fimbristylis miliacea	Fimbristilis	Globe Fringerush	2001	ALS inhibitors (B/2)
24	Lolium perenne ssp. multiflorum	Azevém	Italian Ryegrass	2003	EPSP synthase inhibitors (G/9)
25	Lolium perenne ssp. multiflorum		Italian Ryegrass	2010	ALS inhibitors (B/2)
26	Lolium perenne ssp. multiflo		Italian Ryegrass	2010	Multiple Resistance: 2 Sites of Action ACCase inhibitors (A/1) EPSP synthase inhibitors (G/9)
27	Oryza sativa var. sylve	Arroz vermelho	Red Rice	2006	ALS inhibitors (B/2)
28	Parthenium hysterophorus	Losna branca	Ragweed Parthenium	2004	ALS inhibitors (B/2)
29	Raphanus raphanistrum	Nabiça	Wild Radish	2013	ALS inhibitors (B/2)
30	Raphanus sativus		Radish	2001	ALS inhibitors (B/2)
31	Sagittaria montevidensis	Azevém	California Arrowhead	1999	ALS inhibitors (B/2)
32	Sagittaria montevidensis		California Arrowhead	2009	Multiple Resistance: 2 Sites of Action ALS inhibitors (B/2) PSII inhibitors (Nitriles) (C3/6)
33	Urochloa plantaginea (sill	C. marmelada	Alexandergrass	1997	ACCase inhibitors (A/1)

Aumento cronológico de casos de plantas daninhas resistentes a herbicidas no mundo por mecanismo de ação



Fonte: www.weedscience.com
Ian Heap

Biótipos resistentes a inibidores da ALS x triazinas x glyphosate, expresso em número de anos após a introdução do grupo de herbicidas no mercado



(Heap, 2004)

https://www.youtube.com/watch?v=oxAf2He11lM

Comparação entre o número de casos de resistência no Brasil e no mundo

Heap 2007 - www.weedscience.org

Mecanismos de Ação	N. de espécies resistentes	
	No Brasil	No mundo
Inibidores da ALS	9	95
Inibidores da ACCase	3	35
Hormonais	2	25
Inibidores da Protox	1	3
Inibidores da EPSPs	4	12

Resistência de plantas daninhas a herbicidas

3- Análise de risco de seleção de plantas daninhas resistentes

Fatores ligados a biologia e genética da planta daninha selecionada

- ✓ Densidade populacional da planta daninha
- ✓ Freqüência natural da população resistente
- ✓ Potencial de dormência das sementes de plantas daninhas

Fatores ligados ao sistema de produção adotado

- ✓ Uso freqüente do mesmo mecanismo de ação
- ✓ Uso exclusivo de herbicidas como método de controle
- ✓ Ausência de rotação de culturas ou diversidade de cultivos

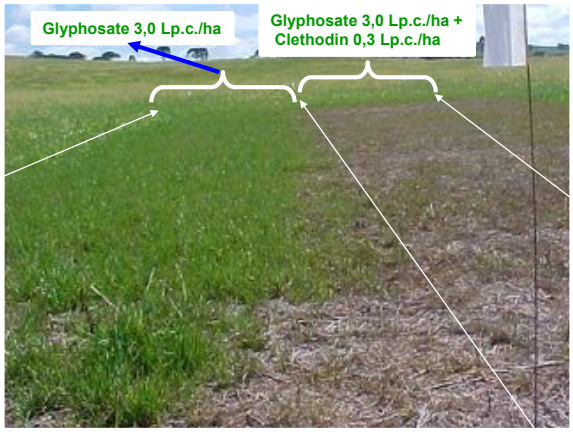
Sistemas de produção x seleção de resistência

Opções de manejo	Risco de Resistência		
	Baixo	Moderado	Alto
Misturas ou rotação de herbicidas	> 2 mecanismos de ação	2 mecanismos de ação	1 mecanismo de ação
Métodos de controle utilizados	Cultural, mecânico e químico	Cultural e químico	Químico apenas
Mesmo mecanismo de ação/cultivo	Uma vez	Duas vezes	> duas vezes
Tipo de sistema de produção	Rotação plena	Rotação limitada	Monocultivo
Relatos de resistência para o herbicida	Desconhecido	Limitado	Comum
Infestação da planta daninha	baixa	Moderada	Alta
Controle nos últimos três anos	Mantém-se satisfatório	Vem Declinando	Não controla mais

https://www.youtube.com/watch?v=NXUj7JlC0Wo

Resistência de plantas daninhas a herbicidas

4- Confirmação de uma suspeita de resistência



Testes preliminares no campo para excluir as outras possibilidades de falha

RELATOS DE RESISTÊNCIA "PROTOCOLOS"

Obedecem a **definição** da resistência;

Seguem **protocolos científicos** adequados;

Comprovam a **herdabilidade**;

Demonstram **impacto prático** no campo;

Identificação em nível de espécie da **planta daninha**;0

(HEAP, 2011)
http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp

CONFIRMAÇÃO DA RESISTÊNCIA

Como se CONFIRMA o surgimento da resistência de plantas daninhas em uma área?

- *Presença de escapes*
- *Sempre a mesma espécie*
- *Reboleiras que evoluem para área total*
- *Bom senso*

Testes laboratoriais com parâmetros pré-definidos por pesquisas

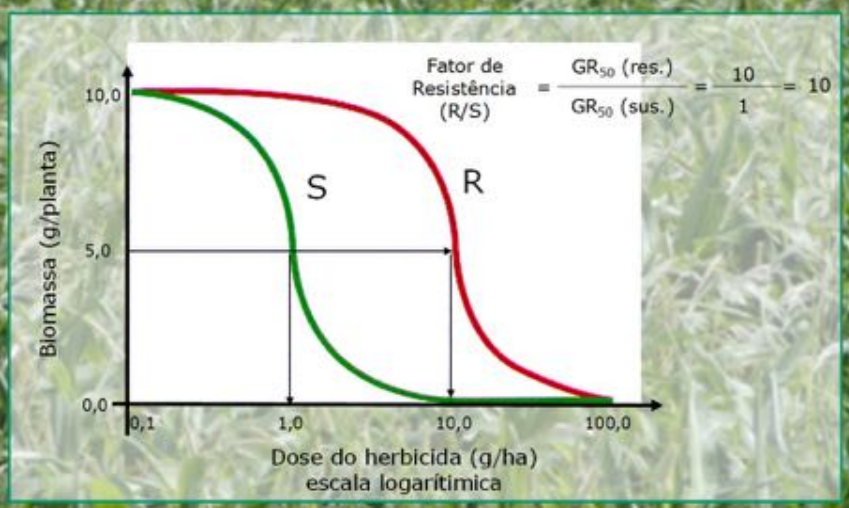
DETECÇÃO

Fator mais importante é o grau de resistência na planta.
Quando a resistência é absoluta e o herbicida não tem nenhum efeito na dose recomendada é mais fácil de detectar.

OBSERVAÇÕES NO CAMPO (FALHAS)

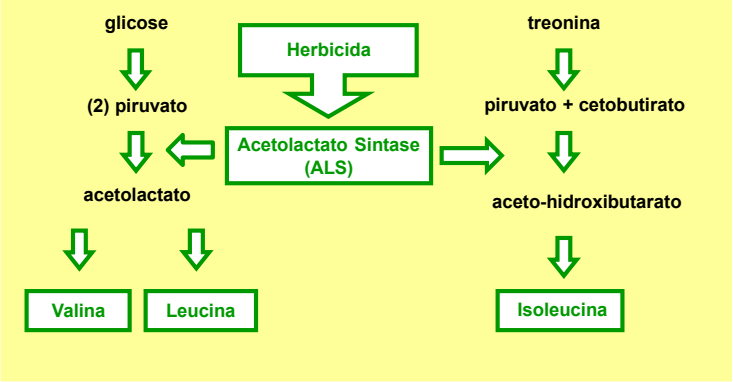
- ✓ Eliminar outras causas.
- ✓ Observar nível de controle das outras espécies suscetíveis.
- ✓ Presença de plantas adjacentes mortas ao lado de plantas vivas.
- ✓ Experiência de controle da planta daninha com o herbicida.
- ✓ Histórico do uso do herbicida suspeito na área.
- ✓ Relatos de outros casos de resistência com aquela planta
- ✓ daninha na região.

Curva de dose-resposta para população susceptível (S) e resistente (R)

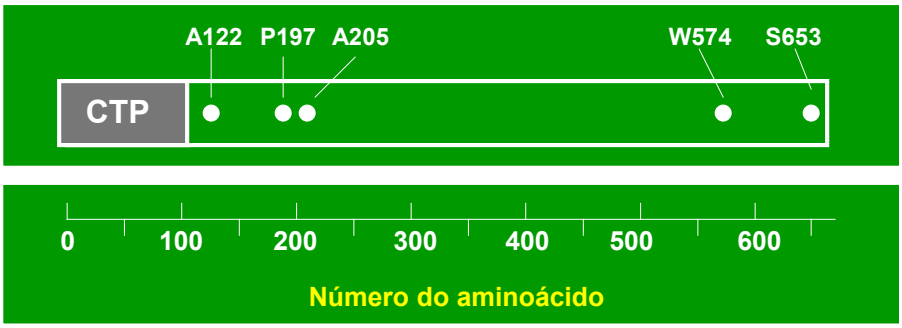


Resistência de plantas daninhas a herbicidas

5- Resistência aos inibidores da ALS



Seqüência de aminoácidos na ALS



Em todos os casos de resistência estudados até o momento tem sido atribuída a mudanças na seqüência dos aminoácidos.

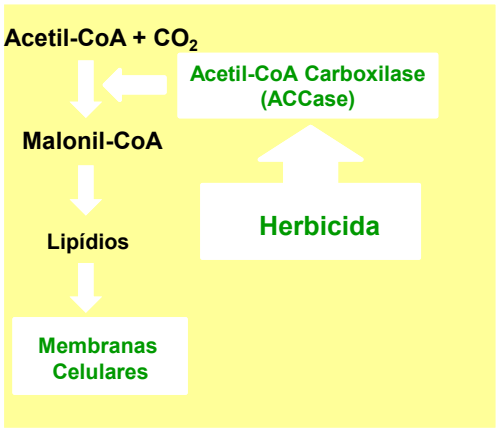
(Sathasivan et al. 1990)

Porquê alto risco de seleção de populações resistentes aos inibidores da ALS?

- ✓ uso repetitivo na agricultura
- ✓ alta eficácia de controle das plantas daninhas
- ✓ atividade residual no solo
- ✓ resistência determinada geneticamente por "locus" simples semi-dominante (alta freqüência inicial)
- ✓ efeitos mínimos do alelo R sobre a adaptabilidade do biótipo R na ausência do herbicida
- ✓ mutações pontuais que podem conferir resistência a um ou mais herbicidas inibidores da ALS

Resistência de plantas daninhas a herbicidas

6- Resistência aos inibidores da ACCase



Espécies

Brachiaria plantaginea

Digitaria horizontalis

No Mundo

33 biótipos

Resistência aos inibidores da ACCase

Ariloxi-fenoxi-propionatos – fluazifop-p-butil (Fusilade)

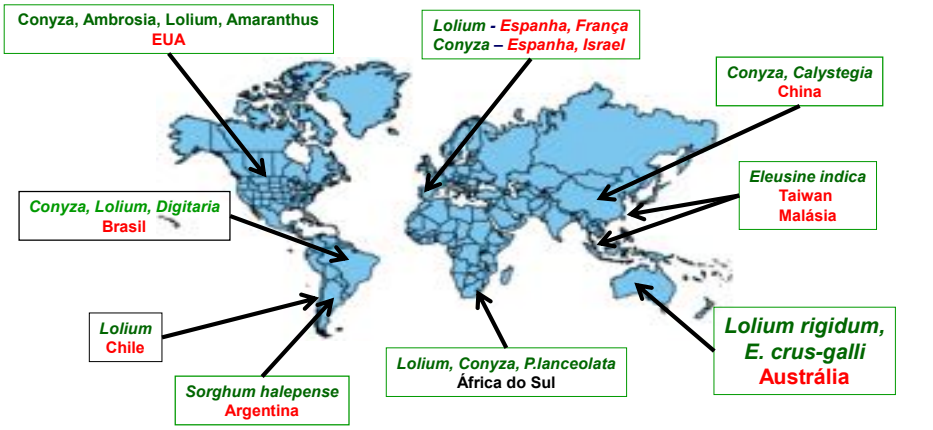
Ciclohexanodionas – sethoxydim (Poast)

Características:

- ✓ **mutações nas enzimas = diferentes tipos e níveis de resistência cruzada**
- ✓ **relatos sobre metabolismo em algumas espécies**
- ✓ **não foram encontradas diferenças quanto à adaptabilidade ecológica**

Resistência de plantas daninhas a herbicidas

7- Resistência ao glyphosate



Plantas daninhas resistentes ao glyphosate nos EUA

Espécie	Ano	N. de espécie relatados
Lolium rigidum	1998	1
Conyza canadensis	2000	17
Ambrosia artemisiifolia	2004	3
Abrosia trifida	2004	3
Lolium multiflorum	2004	2
Amaranthus palmerii	2005	5
Amaranthus rudis	2005	2

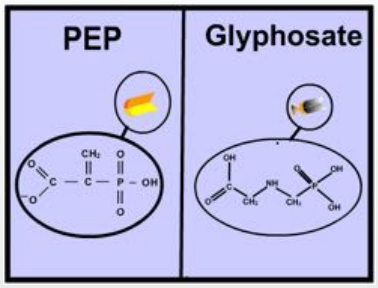
(VanGessel, 2007)

Buva resistente x buva suscetível ao glyphosate

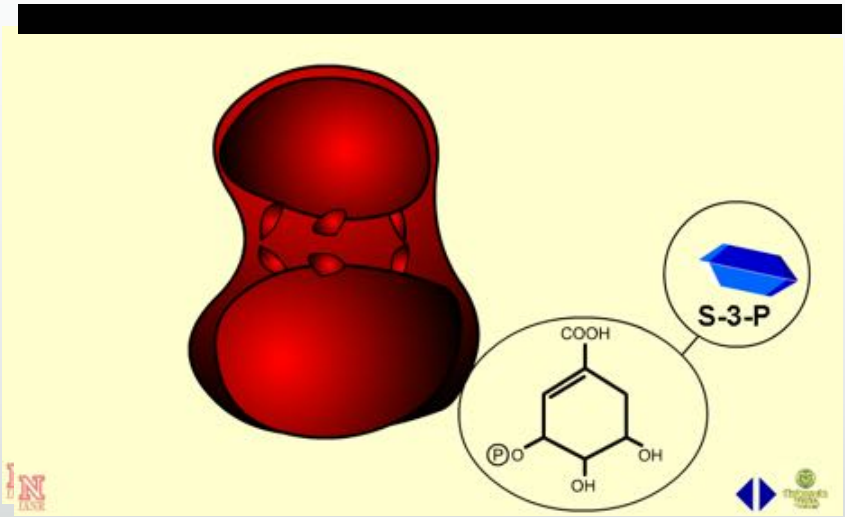
Razões da presença de plantas daninhas resistentes a herbicidas nos EUA
milho, soja e algodão

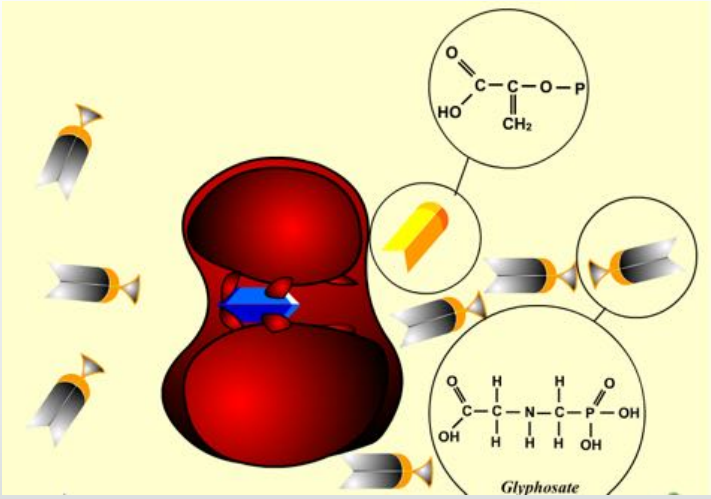
- ✓ Atitude dos produtores e percepção da resistência
- ✓ Menos ingredientes ativos estão sendo utilizados
- ✓ Adoção do plantio direto em larga escala
- ✓ Uso de culturas RR em larga escala
- ✓ Troca de herbicidas residuais para herbicidas pós-emergentes
- ✓ Sistemas de produção sem rotação de culturas
- ✓ Onde tem rotação de culturas, utilização de herbicidas com o mesmo MDA

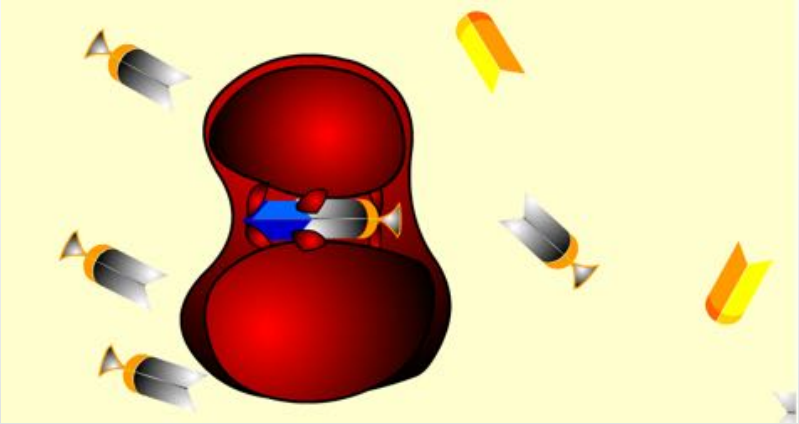
(VanGessel, 2007)



- ✓ Estruturalmente são similares
- ✓ A dissociação do glyphosate da EPSP é 2.300 vezes mais lenta que a PEP!




Glyphosate



Mecanismos de resistência ao glifosato conhecidos

- Alteração no sítio de ação (Proline 106)
- Translocação
- Sequestração
- Amplificação gênica

Descobertas recentes sobre os mecanismos de resistência de plantas daninhas ao glifosato

Vink, UG
0 Dias após a aplicação do glifosato

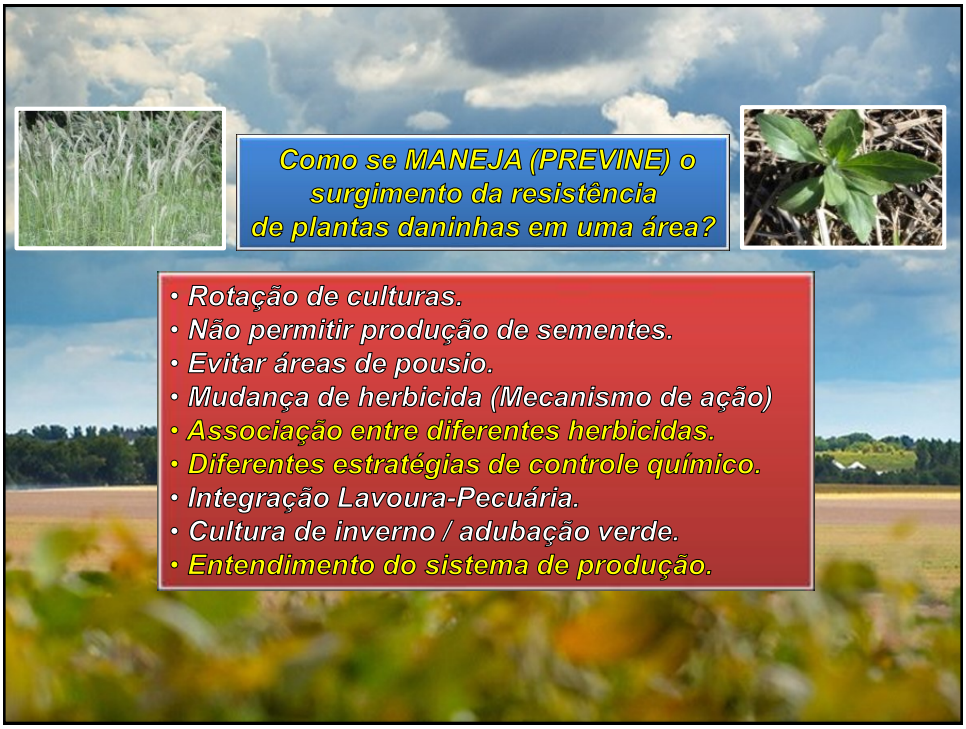
Vink, UG
1 dia depois da aplicação de glifosato

Vink, UG
7 dia depois da aplicação de glifosato

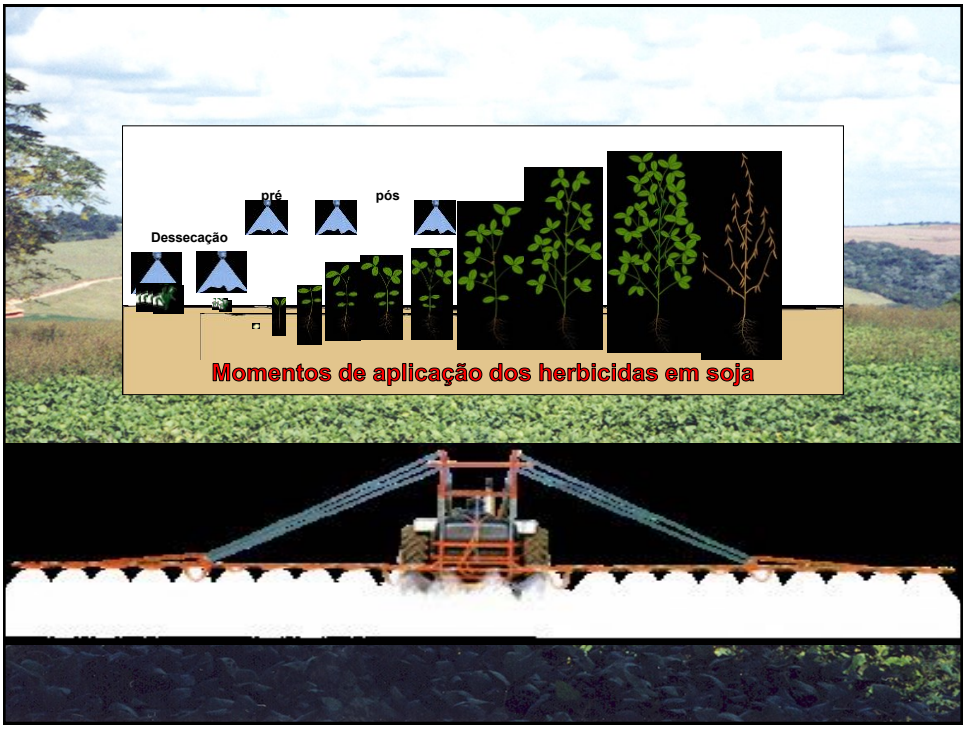
Vink, UG
28 dia depois da aplicação de glifosato

Mutação dupla na EPSPs

"Como manejar o problema
de plantas resistentes a herbicidas?"
Entendimento
Confirmação
Atitudes
INVESTIMENTO


Como se MANEJA (PREVINE) o
surgimento da resistência
de plantas daninhas em uma área?
• Rotação de culturas.
• Não permitir produção de sementes.
• Evitar áreas de pousio.
• Mudança de herbicida (Mecanismo de ação)
• Associação entre diferentes herbicidas.
• Diferentes estratégias de controle químico.
• Integração Lavoura-Pecuária.
• Cultura de inverno / adubação verde.
• Entendimento do sistema de produção.

https://www.youtube.com/watch?v=WBHgm9sgFf0



CONCLUSÕES

DIVERSIDADE!!!!!!

- ASSOCIAÇÕES
- RESIDUAL
- ROTAÇÃO DE CULTURAS / MECANISMOS DE AÇÃO
- DESSECAÇÃO
- MANEJO INTEGRADO

"Fazer, todos os dias, as mesmas coisas e esperar resultados diferentes é a maior prova de insanidade."

Albert Einstein