

Modo de Ação de Herbicidas e Resistência a Herbicidas

Prof. Leonardo Bianco de Carvalho

Matologia

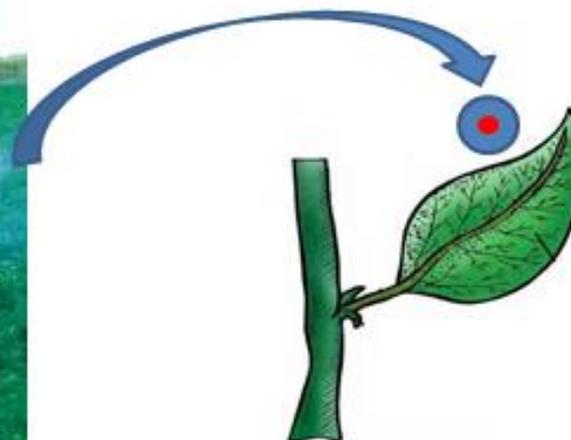
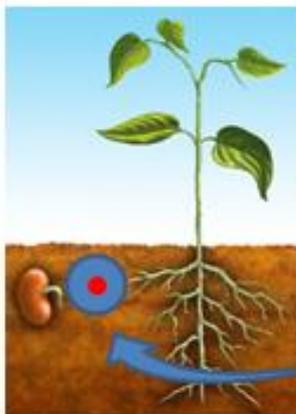
lbcarvalho@fcav.unesp.br

www.fcav.unesp.br/lbcarvalho

Modo de Ação de Herbicidas

Local de Aplicação x Tipo de Herbicida

PRE



POS

Efeito herbicida x Seletividade Genuína (Fisiológica)

Injúria de Atrazine em soja



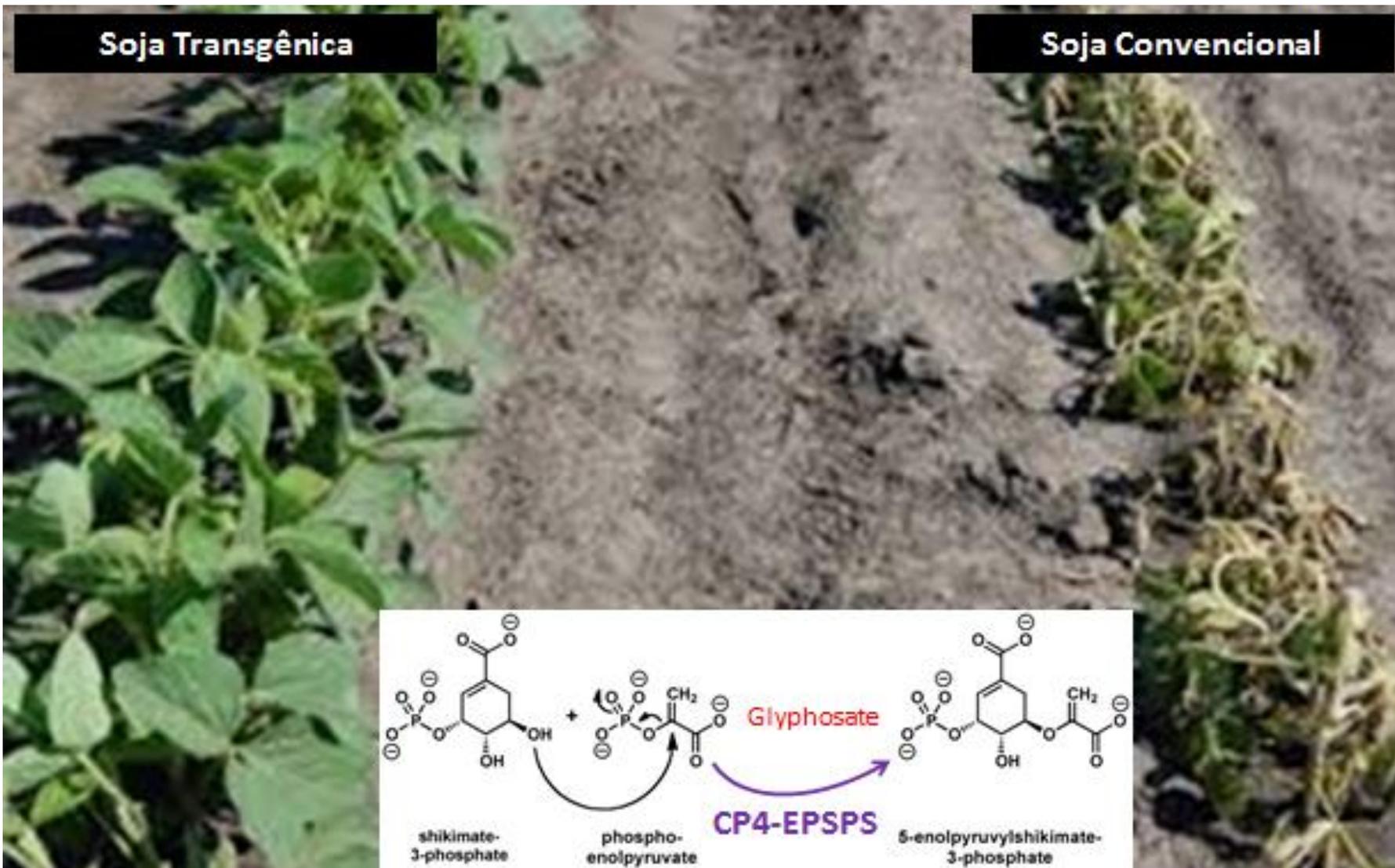
Atrazine é seletivo para milho
Detoxificação por conjugação (GST)

Injúria de Imazethapyr em milho



Imazethapyr é seletivo para soja
Detoxificação enzimática e conjugação

Efeito herbicida x Seletividade Adquirida (Transgenia)



Soja Transgênica **Soja Convencional**

The image shows a field of soybeans. On the left, a row of transgenic soybeans is healthy and green. On the right, a row of conventional soybeans is severely damaged, with yellowed and necrotic leaves, illustrating the effect of glyphosate herbicide.

Chemical Reaction Diagram:

The diagram illustrates the biochemical pathway of glyphosate action. It shows the reaction of shikimate-3-phosphate and phospho-enolpyruvate, catalyzed by the enzyme CP4-EPSPS, to form 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate. The reaction is inhibited by Glyphosate.

CC1=CC(=C(C=C1)C(=O)OP(=O)([O-])[O-])O + CC(=O)OP(=O)([O-])[O-] $\xrightarrow{\text{CP4-EPSPS}}$ CC1=CC(=C(C=C1)C(=O)OP(=O)([O-])[O-])OC(=O)C

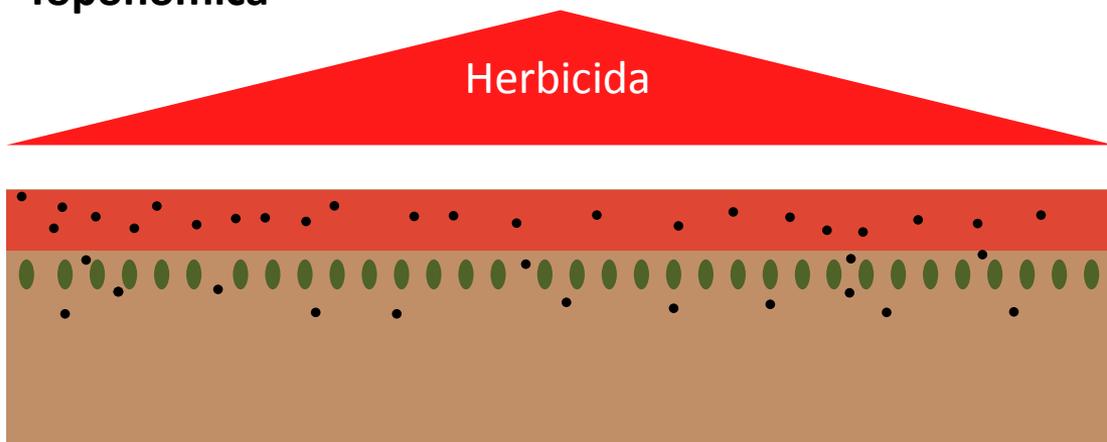
shikimate-3-phosphate + phospho-enolpyruvate $\xrightarrow{\text{CP4-EPSPS}}$ 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate

Glyphosate (inhibitor)

Efeito herbicida x Seletividade de Posição (Condicional)

Toponômica

Herbicida



Herbicidas PRE

Trifluralin

Pendimethalin

Metolachlor

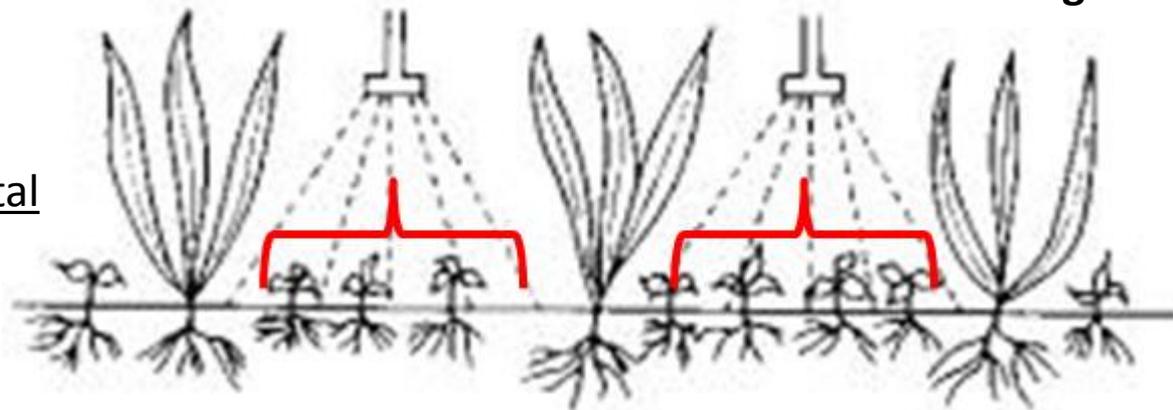
Jato Dirigido

Herbicidas de ação total

Glyphosate

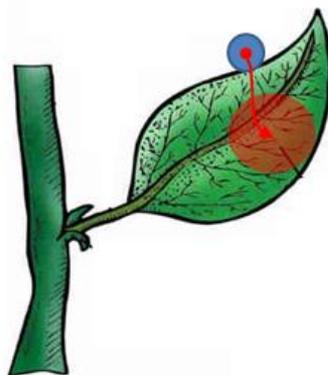
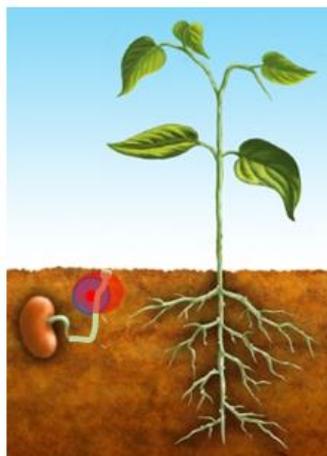
Glufosinate

Paraquat



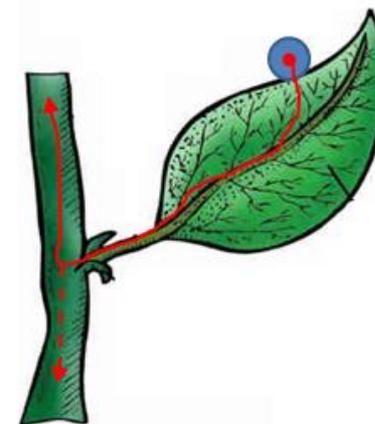
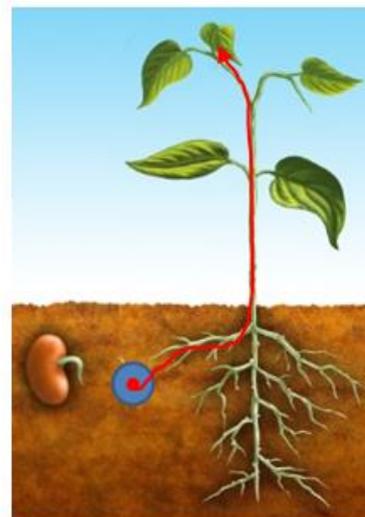
Mobilidade na Planta – Tópicos x Sistêmicos

Herbicida Tópico



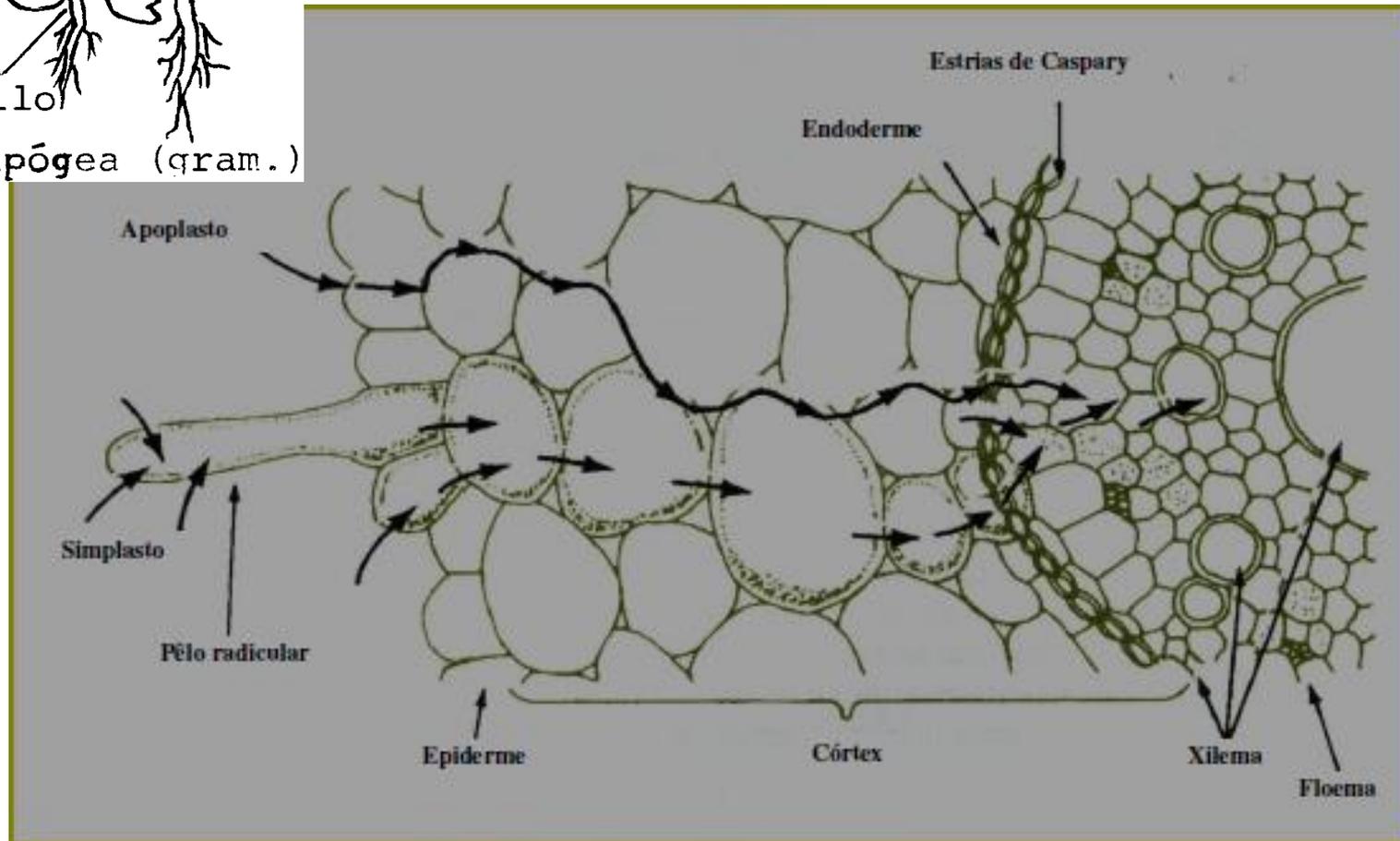
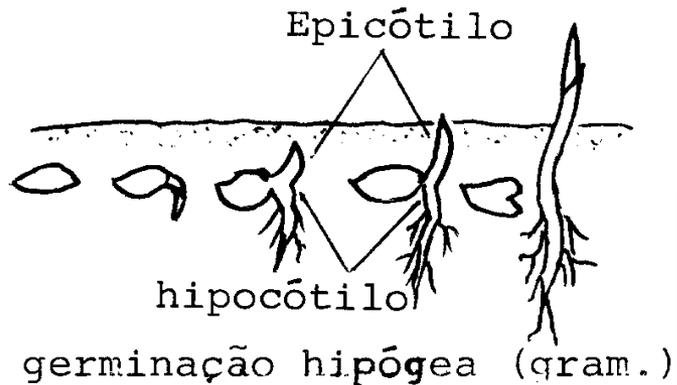
Imóveis – são absorvidos pela célula e agem nas proximidades do local de absorção

Herbicida Sistêmico

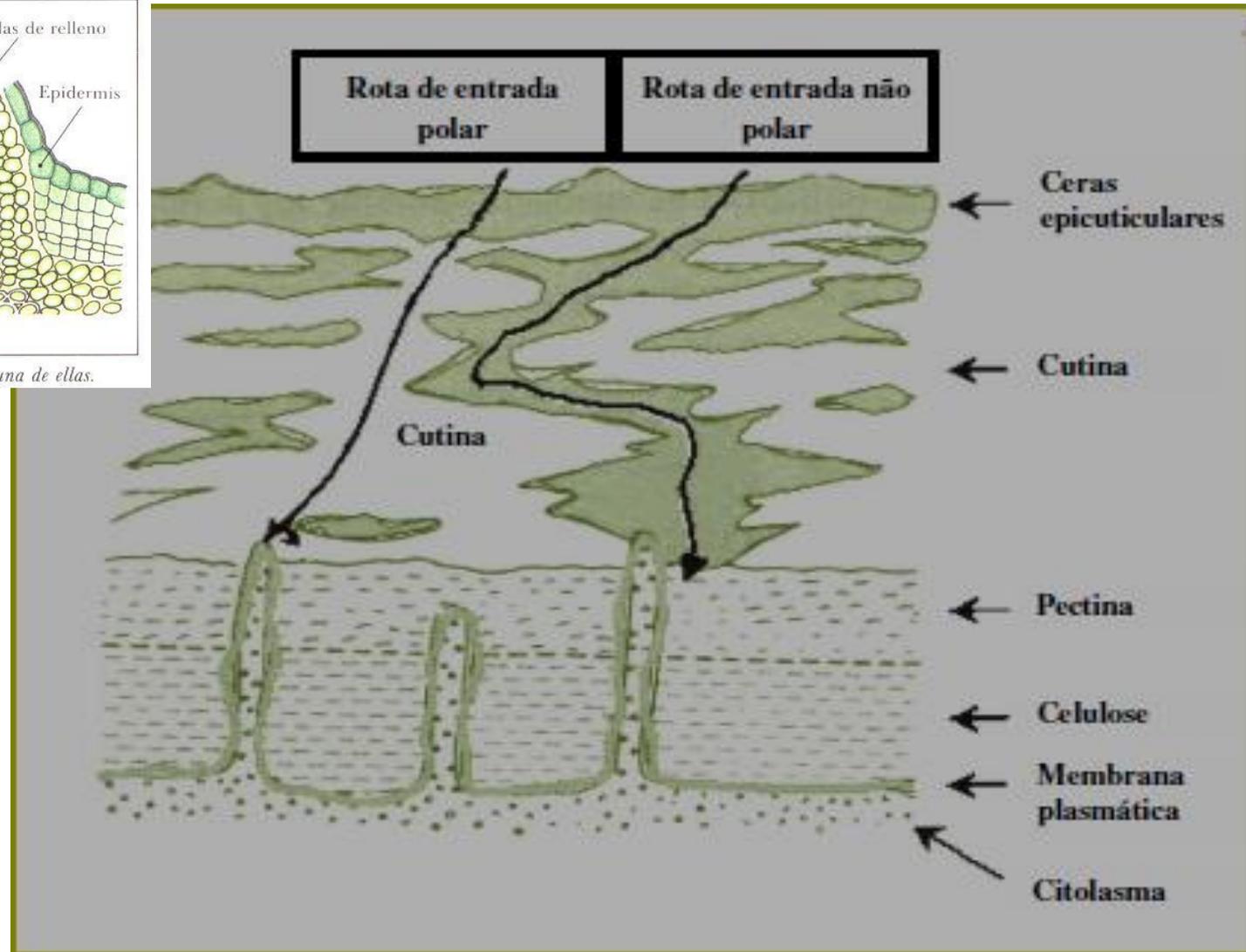
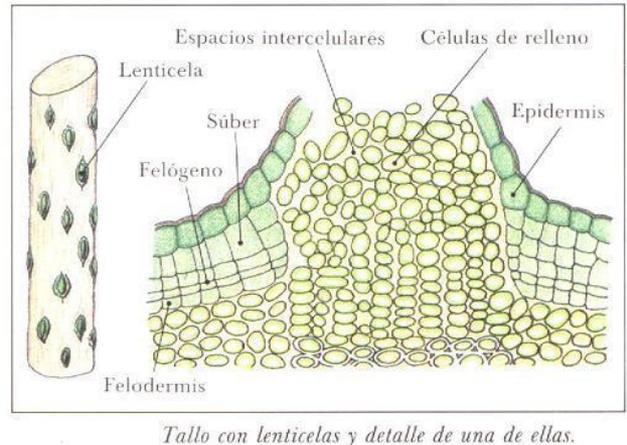


Móveis – são absorvidos pela célula e podem translocar-se pela planta até o local de ação

Absorção de Herbicidas do Solo



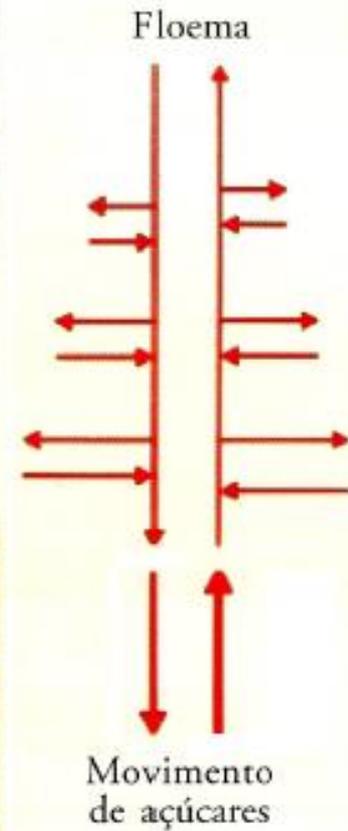
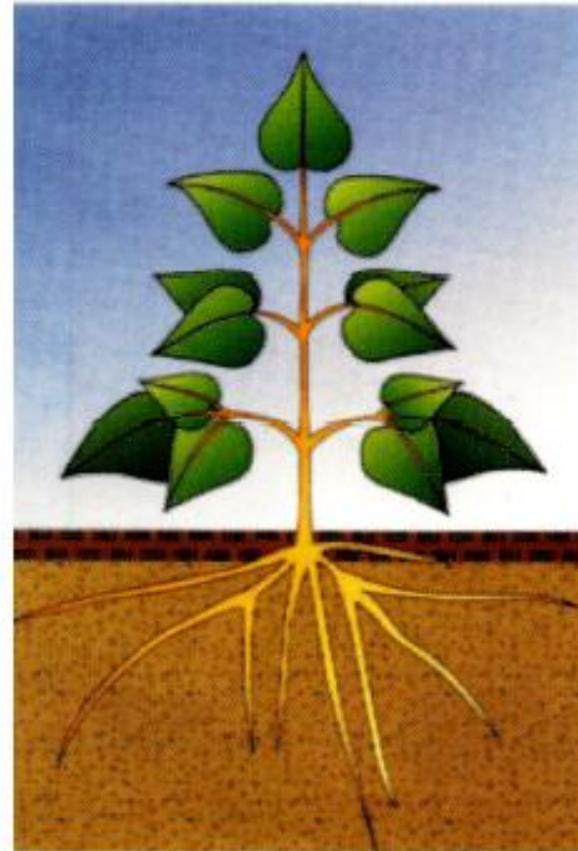
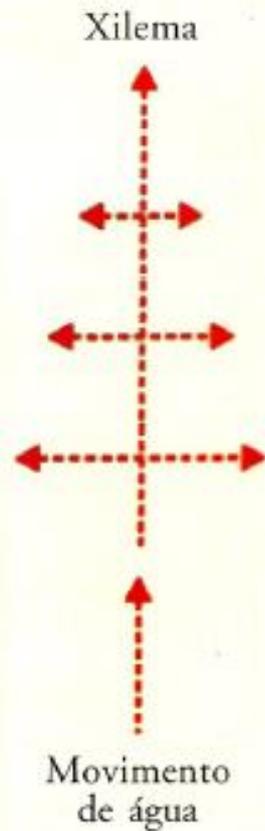
Absorção de Herbicidas pela Parte Aérea



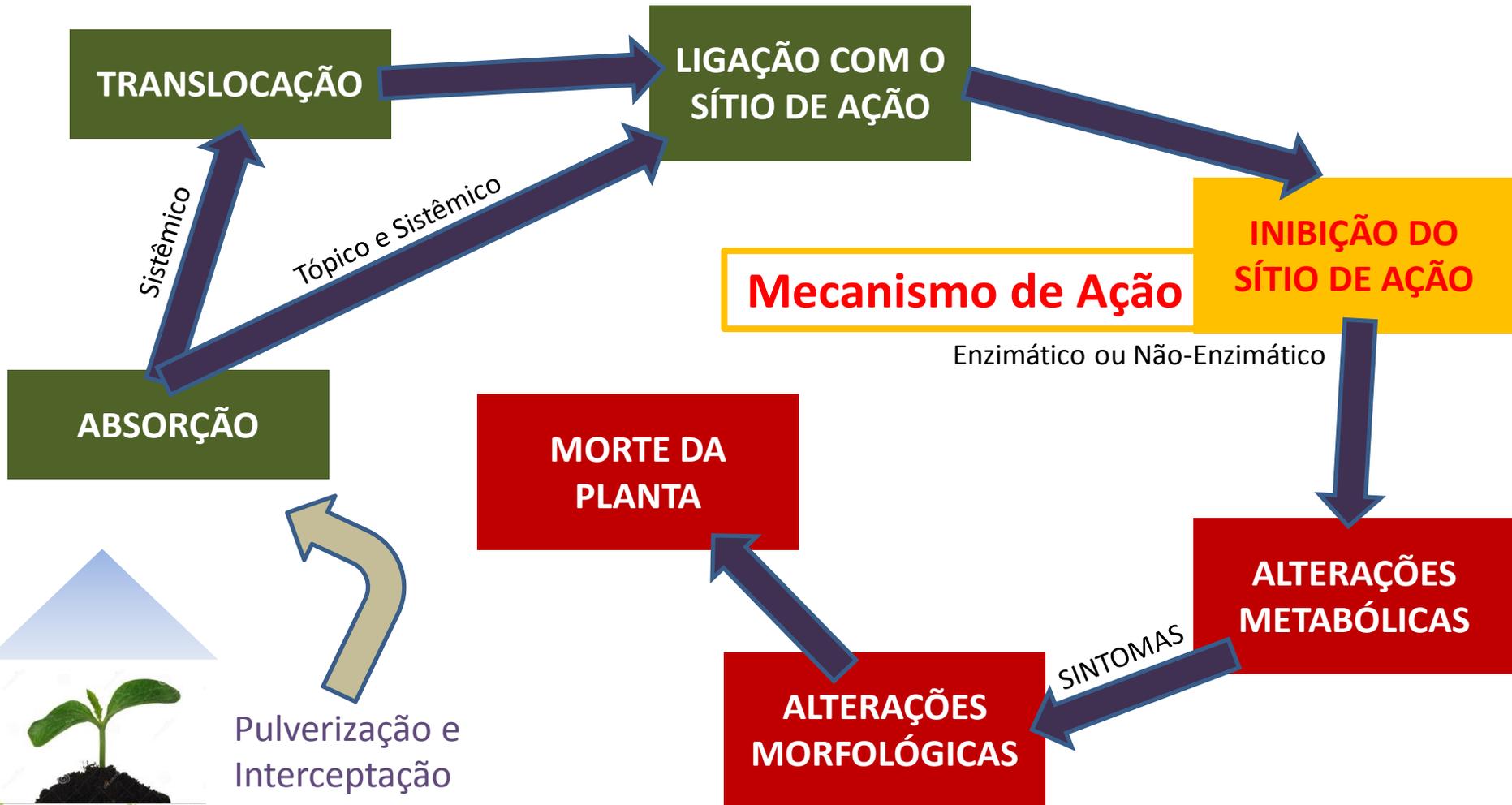
Translocação na Planta

APOPLÁSTICA

SIMPLÁSTICA

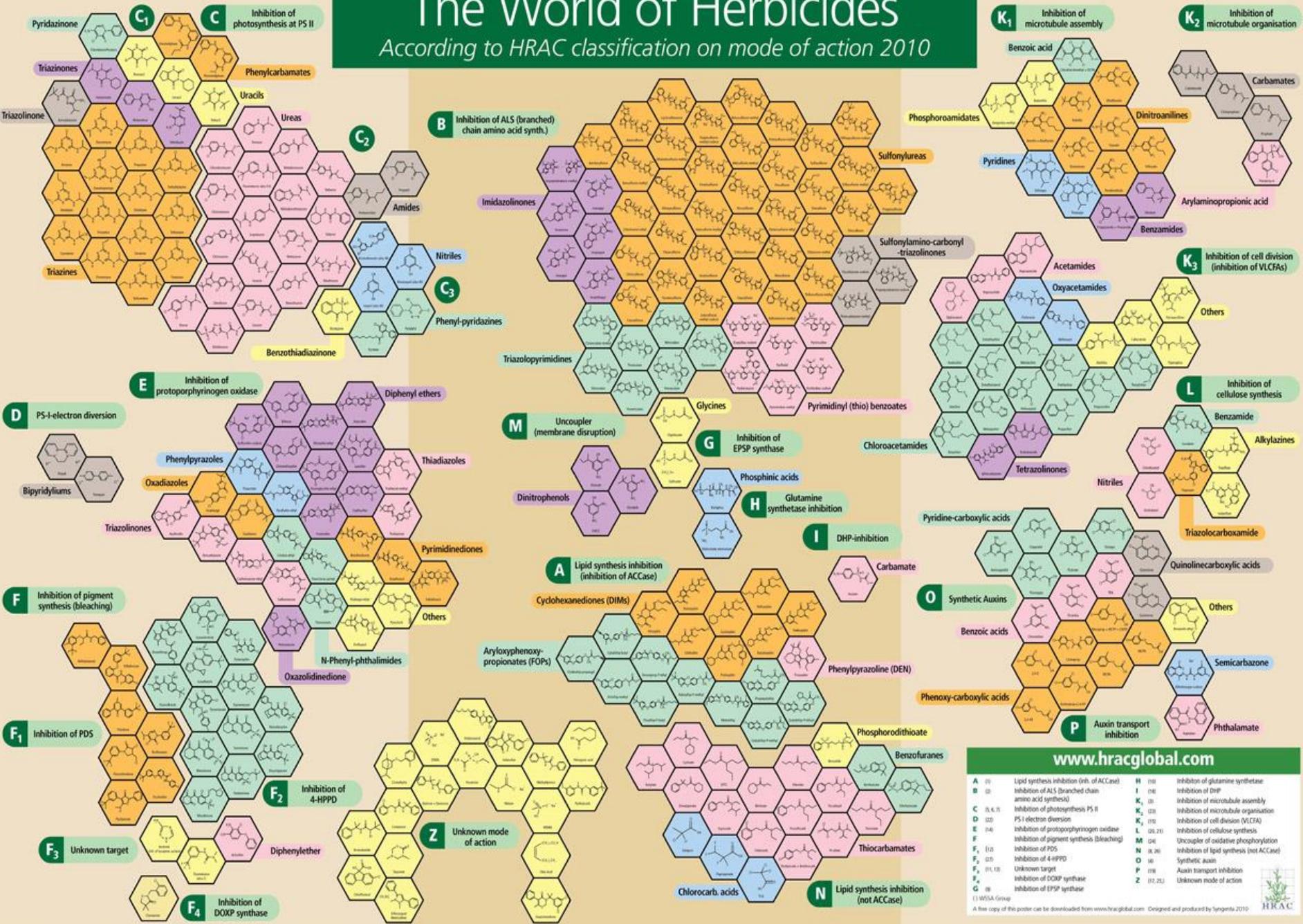


Modo de Ação de Herbicidas



The World of Herbicides

According to HRAC classification on mode of action 2010



www.hracglobal.com

A	01	Lipid synthesis inhibition (inh. of ACCase)	H	110	Inhibition of glutamine synthetase
B	02	Inhibition of ALS (branched chain amino acid synthase)	I	101	Inhibition of DHP
C	03, 6, 7	Inhibition of photosynthesis PS II	K	01	Inhibition of microtubule assembly
D	02	PS I electron diversion	K ₁	02	Inhibition of microtubule organisation
E	04	Inhibition of protoporphyrin oxidase	K ₂	01	Inhibition of cell division (VLCFA)
F	01	Inhibition of pigment synthesis (bleaching)	K ₃	01	Inhibition of cell division (inhibition of VLCFAs)
F ₁	02	Inhibition of PDS	L	02, 21	Inhibition of cellulose synthesis
F ₂	02	Inhibition of 4-HPPD	M	04	Uncoupler of oxidative phosphorylation
F ₃	02	Unknown target	N	01, 20	Inhibition of lipid synthesis (not ACCase)
F ₄	02	Inhibition of DOXP synthase	O	01	Synthetic auxin
G	01	Inhibition of EPSP synthase	P	01	Auxin transport inhibition
H	01	Glutamine synthetase inhibition	Q	01	Unknown target
I	01	DHP-inhibition	R	01	Unknown target
J	01	Unknown target	S	01	Unknown target
K	01	Inhibition of microtubule assembly	T	01	Unknown target
K ₁	01	Inhibition of microtubule assembly	U	01	Unknown target
K ₂	01	Inhibition of microtubule organisation	V	01	Unknown target
K ₃	01	Inhibition of cell division (inhibition of VLCFAs)	W	01	Unknown target
L	01	Inhibition of cellulose synthesis	X	01	Unknown target
M	01	Uncoupler (membrane disruption)	Y	01	Unknown target
N	01	Lipid synthesis inhibition (not ACCase)	Z	01	Unknown mode of action

(1) WSSA Group
A free copy of this poster can be downloaded from www.hracglobal.com. Designed and produced by Targenta 2010.

HERBICIDES AFFECTING: Light Processes

Cell Metabolism

Growth/Cell Division

A – Inibidores de ACCase

- Inibem a enzima acetil coenzima-A carboxilase
- Destruidores de meristemas de gramíneas
- Seletivos a folhas-largas e ciperáceas
- Seletividade a gramíneas por insensibilidade da enzima
- POS sistêmicos
- Alguns com residual

Síntese de Malonil-CoA

Acetil-CoA

Bicarbonato
(HCO_3^-)

ACCase

Herbicida

Plastídeos
e citosol

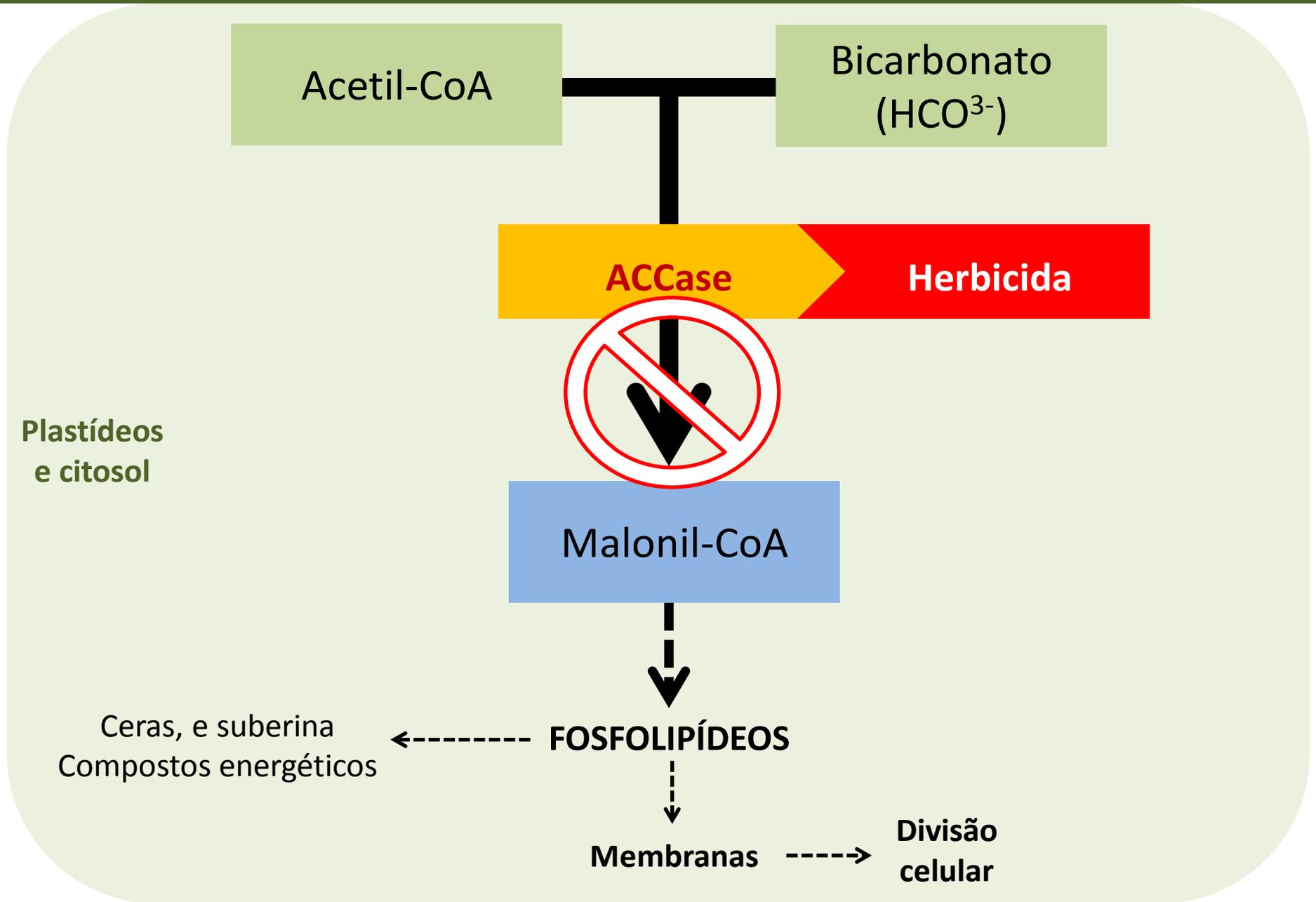
Malonil-CoA

FOSFOLIPÍDEOS

Ceras, e suberina
Compostos energéticos

Membranas

Divisão
celular





Wild Oat - Sethoxydim pinched stem base
F.A. Holm

Avena fatua

Inibidores da enzima Acetil coenzima-A carboxilase

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Clodinafop-propargyl	Topik 240 EC	Syngenta	POS	Trigo	G
Cyhalofop-butyl	Clincher	Dow	POS	Arroz	G
Fenoxaprop-p-ethyl	Podium EW Rapsode Starice	Bayer Cheminova Bayer	POS	Feijão, soja etc. Arroz, feijão etc. Arroz	G
Fluazifop-p-butyl	Fusilade 250 EW	Syngenta	POS	Algodão, feijão, soja etc.	G
Haloxyfop-methyl	Gallant R Verdict R	Dow	POS	Algodão, feijão e soja Soja	G
Quizalofop-p-ethyl	Targa 50 EC	Arysta	POS	Algodão, feijão, soja etc.	G
Quizalofop-p-tefuryl	Panther 120 EC	Chemtura	POS	Algodão, feijão, soja etc.	G
Clethodim	Select 240 CE	Hokko	POS	Algodão, feijão, soja etc.	G
Sethoxydim	Poast	Basf	POS	Algodão, feijão, soja, milho* etc.	G
Tepraloxydim	Aramo 200	Basf	POS	Algodão, feijão e soja	G

* Seletivo para alguns híbridos

B – Inibidores de ALS

- Inibem a enzima acetolactato sintase
- Inibidores da síntese de aminoácidos
- Seletividade de culturas por detoxificação
- POS sistêmicos
- Todos com residual
- Imidazolinonas com persistência alta

Síntese de Acetolactato

Piruvato

Piruvato

ALS

Herbicida

Cloroplastos
e
Plastídeos

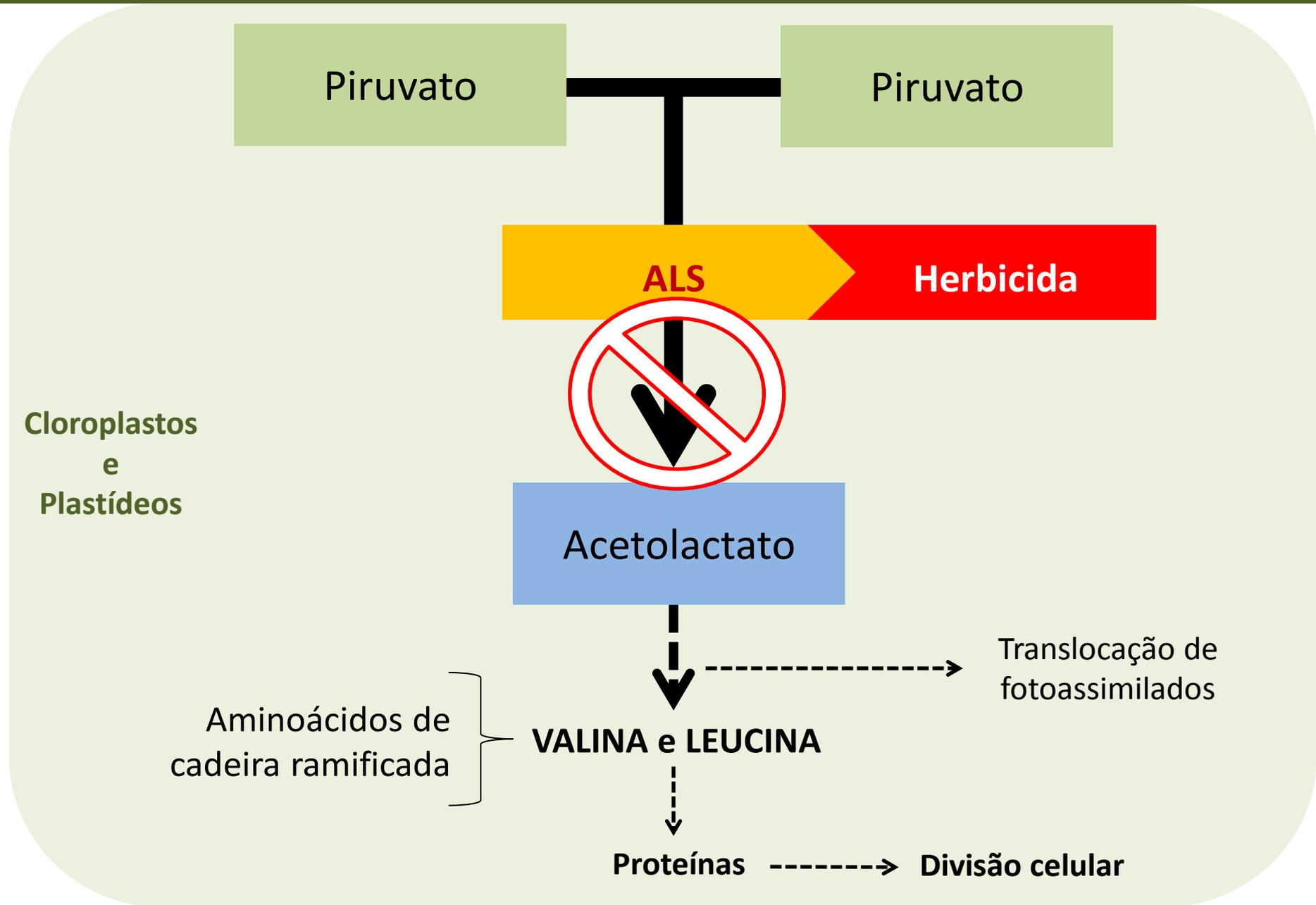
Acetolactato

Aminoácidos de
cadeira ramificada

VALINA e LEUCINA

Translocação de
fotoassimilados

Proteínas -----> Divisão celular



Síntese de Acetohidroxibutirato

Piruvato

Cetobutirato

ALS = AHAS

Herbicida

Cloroplastos
e
Plastídeos

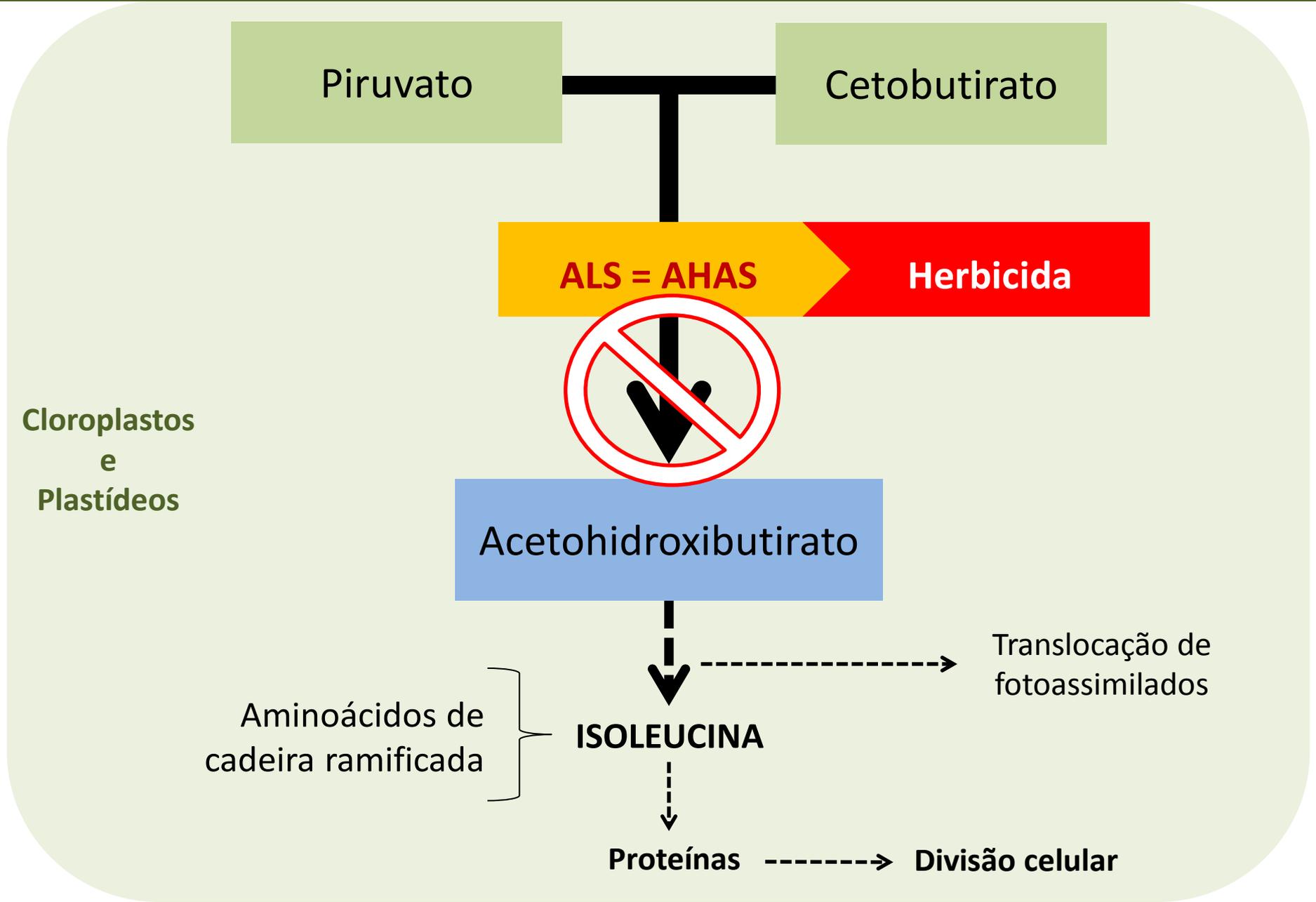
Acetohidroxibutirato

Aminoácidos de
cadeira ramificada

ISOLEUCINA

Translocação de
fotoassimilados

Proteínas -----> Divisão celular





Odyssey - Stinkweed 16 DAT
F.A. Holm

Thlapsi arvensis



Group 2 injury on Oats
K. Sapsford

Aveia

Inibidores da enzima Acetolactato sintase

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Azimsulfuron	Gulliver	Du Pont	POS	Arroz irrigado	MC
Chlorimuron-ethyl	Classic Clorimuron Master Conquest Panzer 250 WDG Twister	Du Pont Nortox Milenia Cropchem Cheminova	POS	Soja	DT
Ethoxysulfuron	Gladium	Bayer	POS	Arroz	CS
Flazasulfuron	Katana	Ishihara	PRE e POS	Cana	DMC
Halosulfuron	Sempre	Arysta	POS	Cana	C
Iodosulfuron-methyl	Hussar	Bayer	POS	Arroz, cana e trigo	DM
Metsulfuron-methyl	Ally e Wolf Nufuron Tarzan	Du Pont Nufarm DVA Agro	POS e PRE	Arroz, aveia, cana, cevada, trigo, triticale, café, pastagem etc.	D
Nicosulfuron	Accent e Pramilho Nicosulfuron Sanson 40 SC	Du Pont Nortox Ishihara	POS	Milho	DMT
Pyrazosulfuron-ethyl	Sirius 250 SC	Iharabras	POS	Arroz irrigado	CS
Trifloxysulfuron	Envoke	Syngenta	POS	Algodão e cana	D

Inibidores da enzima Acetolactato sintase

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Imazapic	Plateau	Basf	PRE	Amendoim e cana #	DMC
Imazapyr	Arsenal NA Chopper Florestal Contain	Basf	PRE	Cana e pinus	M
Imazaquin	Imazaquin Ultra Scepter e Scepter 70 DG Topgan	Nortox Basf Milenia	PPI e PRE	Soja	D
Imazethapyr	Dinamaz 70 WDG e Pivot 100 SL Imazetapir Plus Vezir Zaphir Zethapyr 106 SL	Basf Nortox Milenia DVA Agro Agripec	POS	Feijão e soja	DMT

Inibidores da enzima Acetolactato sintase

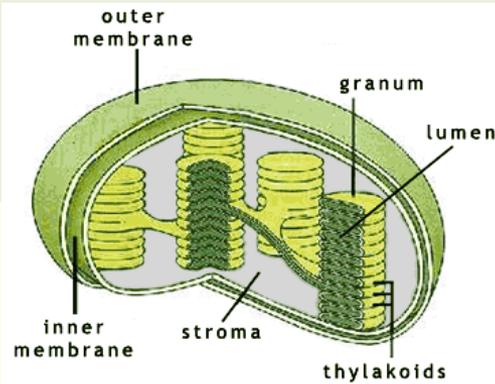
Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Cloransulam-methyl	Pacto	Dow	POS	Soja	DT
Diclosulam	Coact Spider 800 WG	Dow	PRE e PPI	Soja	D
Flumetsulam	Scorpion	Dow	PPI e PRE	Soja	D
Penoxulam	Ricer	Dow	PRE e POS	Arroz irrigado	MC
Bispyribac-sodium	Nominee 400 SC Sonora	Iharabras	POS	Arroz irrigado	MSC
Pyrithiobac-sodium	Staple 280 CS	Iharabras	PRE e POS	Algodão	D

C e D – Inibidores de Fotossistemas

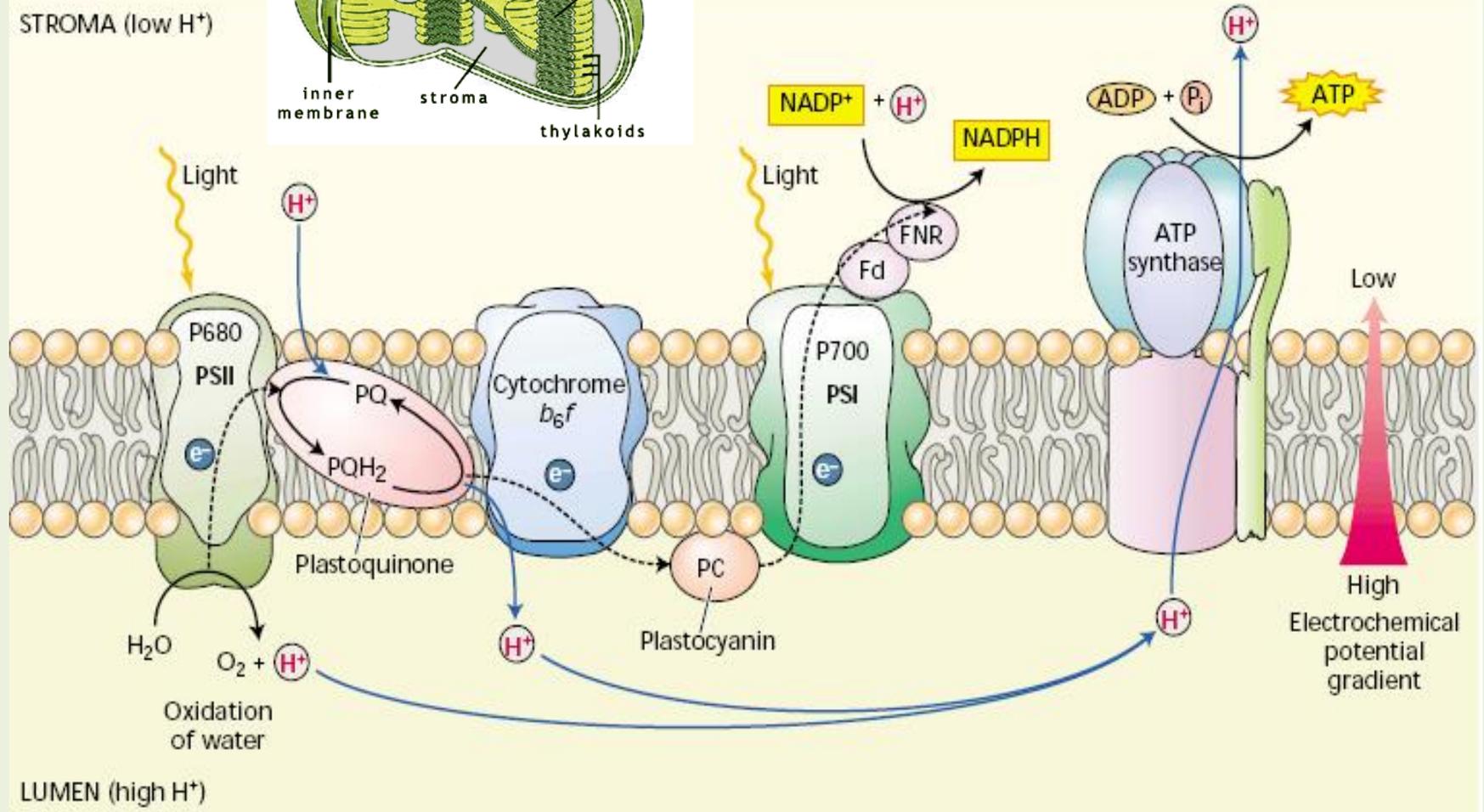
- Inibem ou desviam o fluxo de elétrons no fotossistema II
- Inibidores da fotossíntese
- Necessitam de luz para ter ação

Etapa Fotoquímica da Fotossíntese

Cloroplastos



STROMA (low H^+)

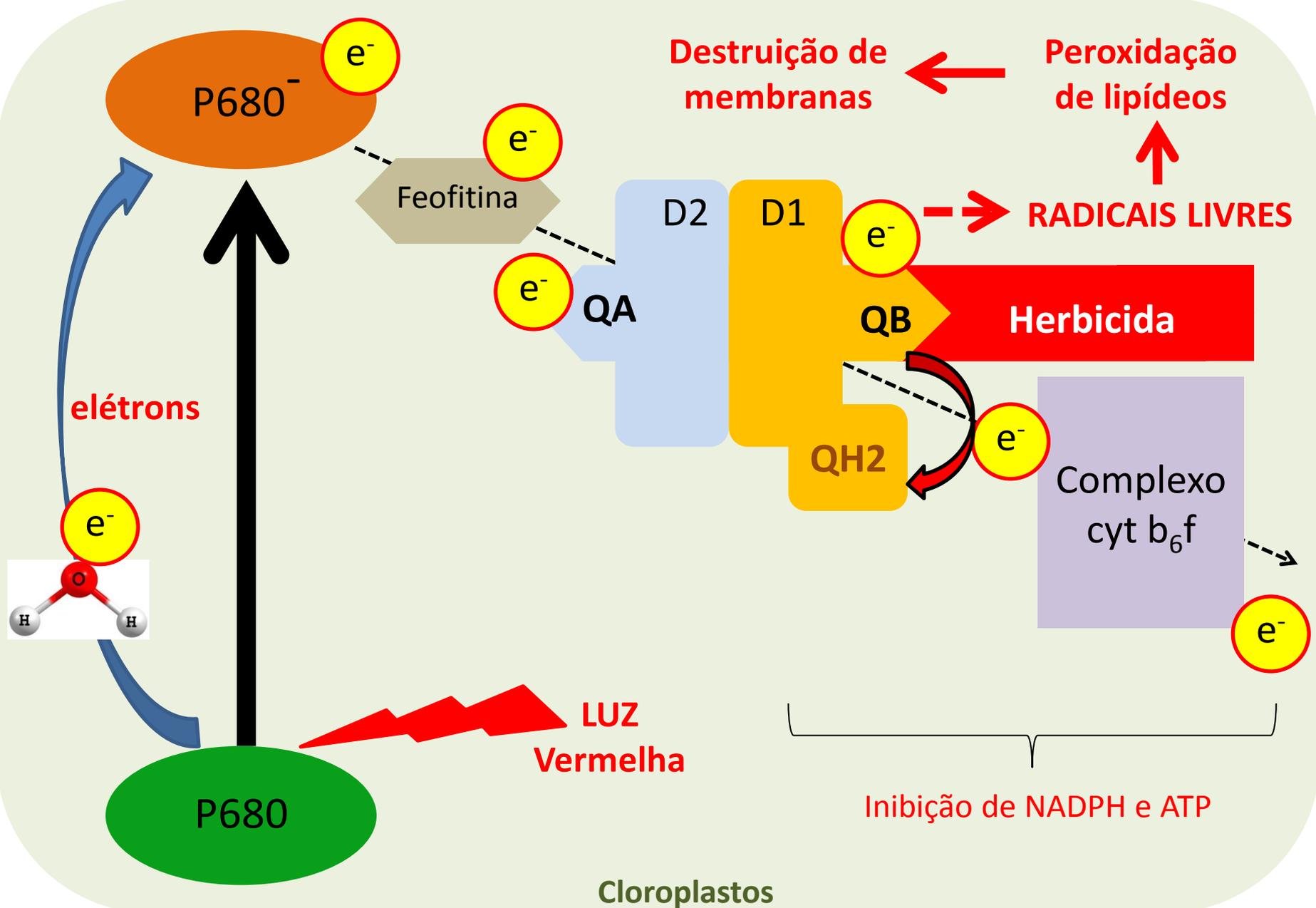


LUMEN (high H^+)

C – Inibidores de FSII

- Inibem o fluxo de elétrons no fotossistema II
- Inibidores da fotossíntese
- Seletividade de culturas por detoxificação ou toponômica (abs e transl tb)
- PRE sistêmicos geralmente ou POS contato (alguns)
- Quase todos com residual
- Persistência variável (2 meses a 2 anos)

Fluxo de Elétron no FSII





Metribuzin
Chickpea Post-e
F.A. Holm

Grão-de-bico



Linuron 1200 g - Wild Buckwheat 0DAT
F.A. Holm

Polygonum convolvulus

Inibidores do Fotosistema II

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Ametryn	Gesapax 500 Herbipak 500 e Herbipak WG Metrimex	Syngenta Milenia Sipcam Isagro	PRE e/ou POS	Cana e Milho	DM
Atrazine	Gesaprim 500, Gesaprim GRDA e Primóleo Atranex WG e Herbitrin 500 Genius WG e Siptran 500 SC Atrazina 50 SC Atrazina 500 SC Outros	Syngenta Milenia Sipcam Isagro Atanor Nortox		Cana, milho e sorgo	DT
Prometryn	Gesagard 500 SC	Syngenta		Algodão	DM
Hexazinone	Broker 750 WG Hexaninona Hexazinona-D	FMC Nortox		Cana #	DMT
Metamitron	Goltix	Arysta		Beterraba	D
Metribuzin	Sencor 480 Soccer SC	Bayer		Cana, soja, trigo	DM

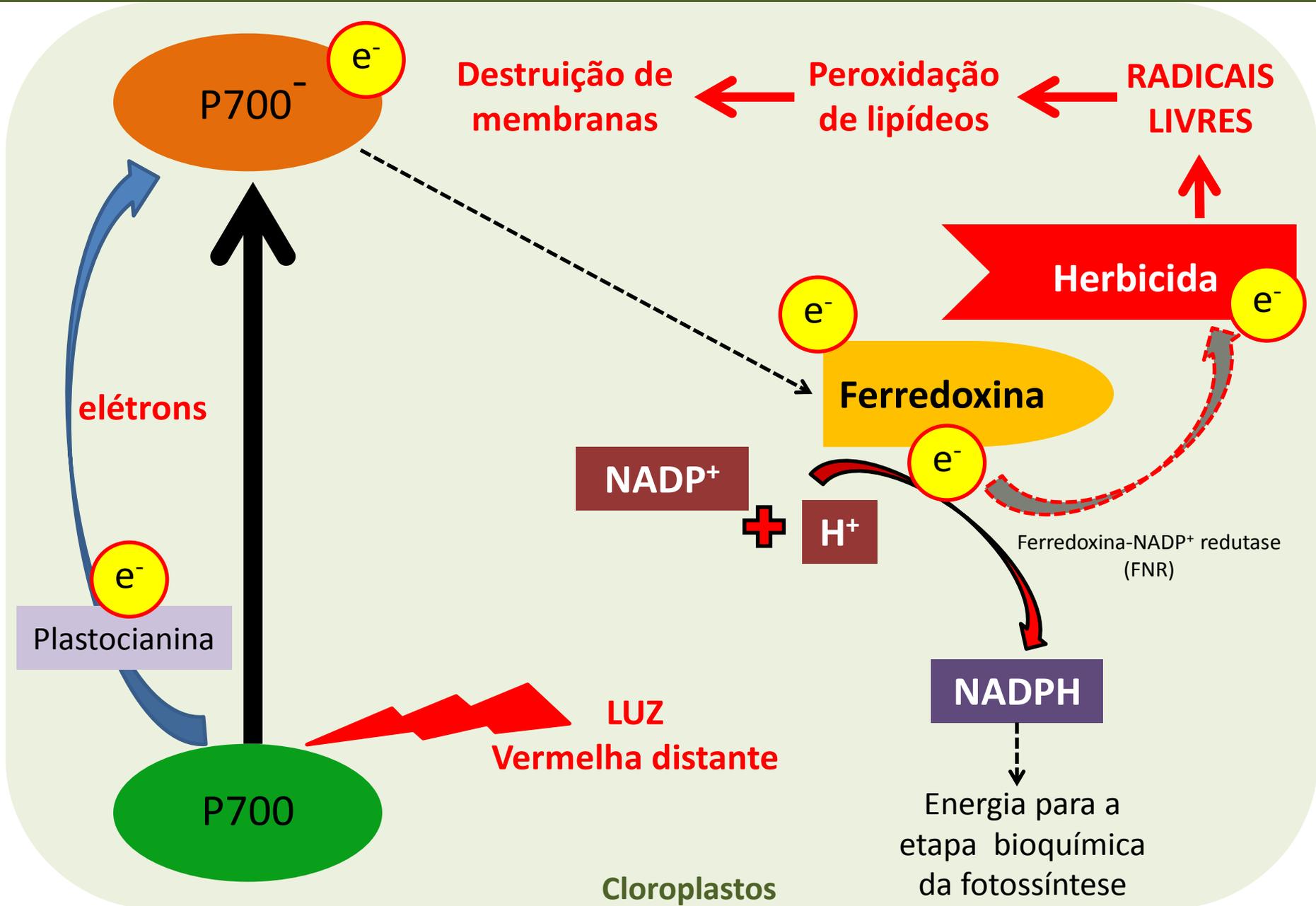
Inibidores do Fotosistema II

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Amicarbazone	Dinamic	Arysta	PRE e/ou POS	Cana e Milho #	DM
Diuron	Diuron 500 SC Herburon 500 BR e Herburon WG Karmex	Nortox Milenia Du Pont		Algodão, café, cana, citros	DMT
Linuron	Afalon 450 SC	Milenia		Alho, cebola, cenoura	DM
Tebuthiuron	Butiron Combine 500 SC e Spike Lava 800	Milenia Dow Volcano	PRE	Cana	DM
Propanil	Grassaid e Grassaid 540 CE Herbipropanin Propanil	Iharabras Milenia Nufarm	POS	Arroz irrigado	MC
Bentazon	Basagran 480 e Basagran 600	Basf	POS	Arroz, feijão, milho, soja e trigo	DTC
Ioxynil	Totril	Bayer	POS	Alho e cebola	D

D – Inibidores de FSI

- Desviam o fluxo de elétrons no fotossistema I
- Inibidores da fotossíntese
- Não-seletivos
- POS contato (exclusivo)
- Sem residual
- Persistência alta

Fluxo de Elétron no FSI





Buctril M 1x - Shepherd's Purse)
F.A. Holm

Capsella bursa-pastoris



Paraquat - Wheat 1DAT
F.A. Holm

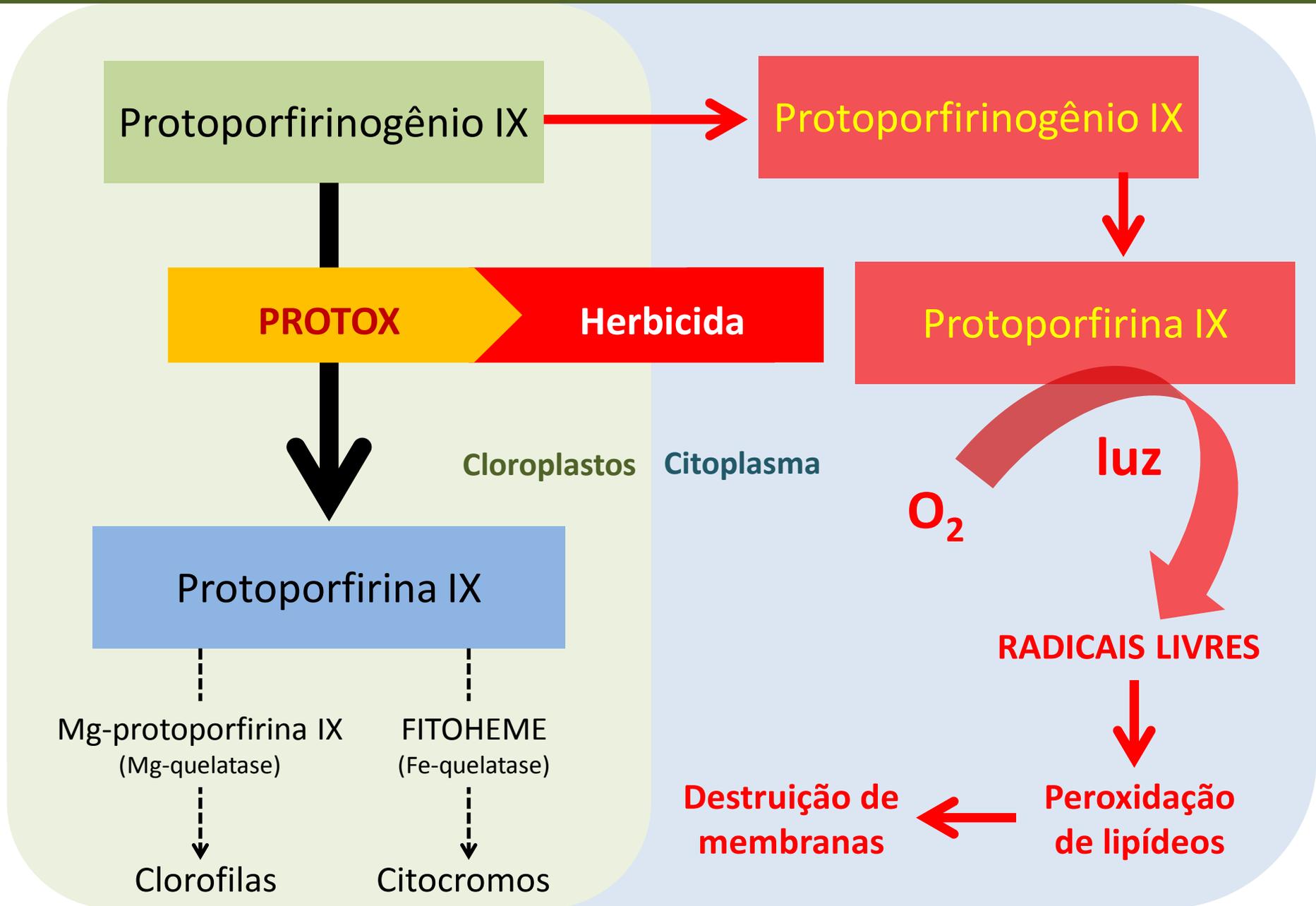
Inibidores do Fotossistema I

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Diquat	Reglone	Syngenta	POS	Não-seletivo	DMT
Paraquat	Gramoxone 200 Helmoxone Paradox Tocha	Syngenta Helm Sinon Cross Link	POS	Não-seletivo	MDT

E – Inibidores de PROTOX

- Inibem a enzima protoporfirinogênio oxidase
- Destroem membranas
- Necessitam de luz para ter ação
- Seletividade de culturas por detoxificação (alguns toponômica e sensibilidade diferencial da enzima)
- POS contato (alguns PRE contato)
- Muitos com residual

Síntese de Protoporfirina IX no Cloroplasto





Clean Start on Narrow-leaved hawk's-beard - 11 DAT
Ken Sapsford

Crepis tectorum



Wheat Injury 12 Months after 4 X rate of Sulfentrazone
Ken Sapsford

Inibidores da enzima protoporfirinogênio IX oxidase

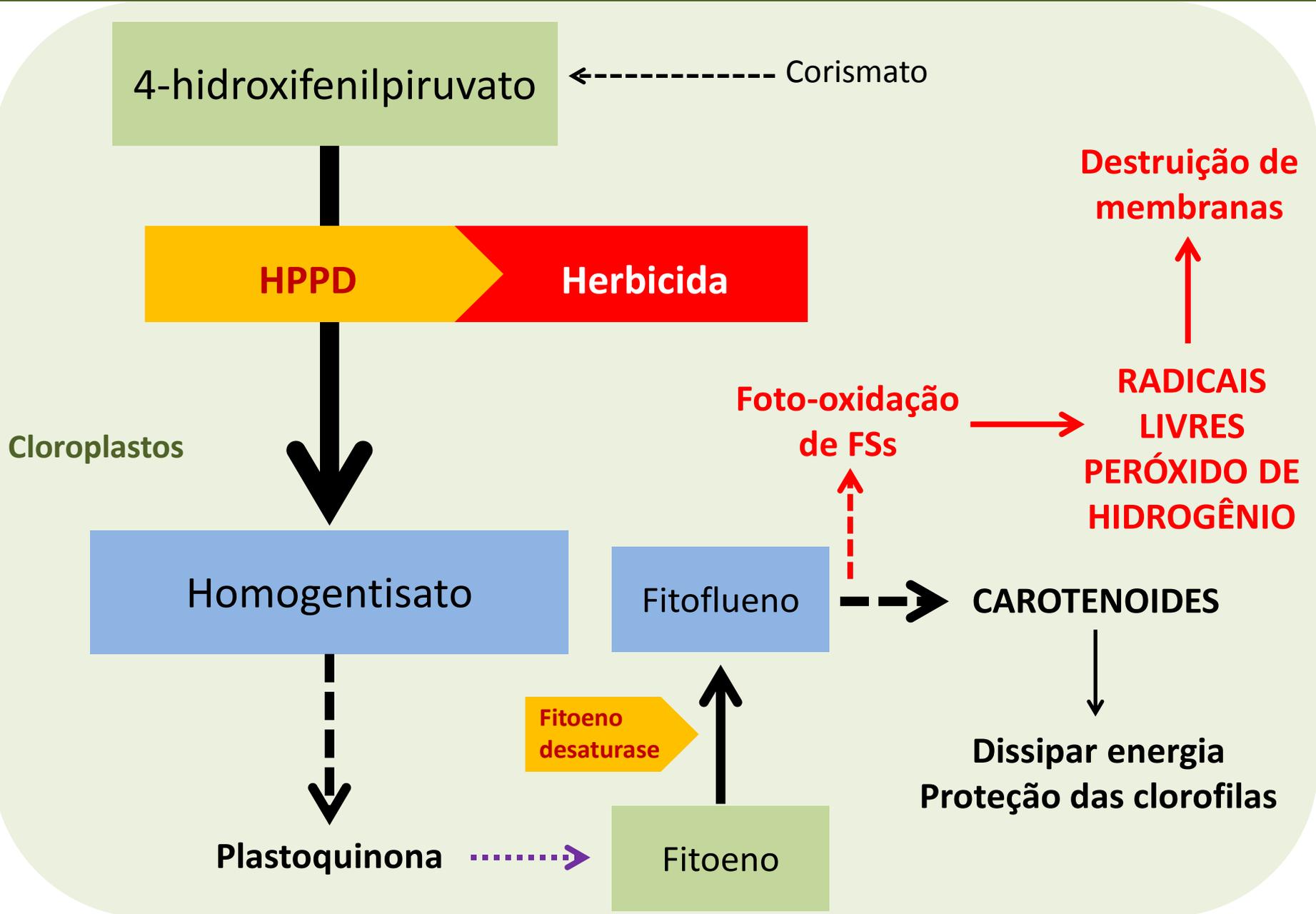
Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Fomesafen	Flex	Syngenta	POS	Soja e feijão	D
Lactofen	Cobra Coral Drible e Lactofen 240 EC Naja	Bayer DVA Agro Nufarm Milenia	POS	Soja	D
Oxyfluorfen	Goal BR Galigan 240 CE	Dow Agricur	PRE *	Algodão, arroz, café, cana, citros etc.	DMC
Carfentrazone-ethyl	Aurora 400 CE	FMC	POS	Arroz, milho, soja #	DTSC
Sufentrazone	Boral 500 SC Explorer 500 SC Solara 500	FMC	PRE	Cana, citros, eucalipto, soja etc.	MDT C
Flumiclorac-penthyll	Radiant 100	Sumitomo	POS	Soja	DT
Flumioxazin	Flumyzin 500 Sumisoya	Sumitomo	PRE e POS	Algodão, cana, citros, soja etc.	DTM
Saflufenacil	Heat	Basf	POS	Não-seletivo	T
Oxadiazon	Ronstar SC Ronstar 250 BR	Bayer	PRE e POS	Arroz, alho, cebola e cana	DM

Seletividade condicional

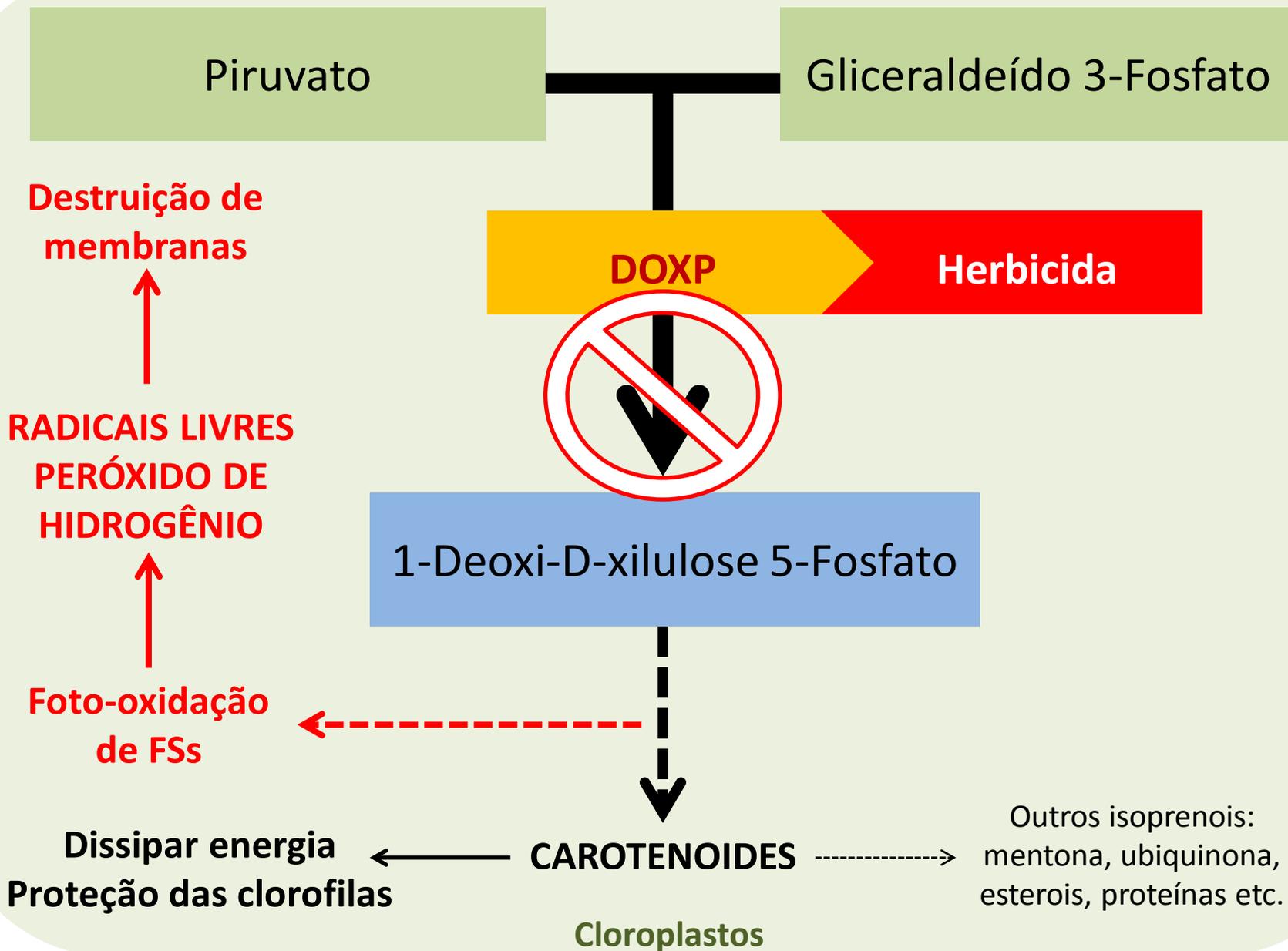
F – Inibidores de Carotenos

- Despigmmentadores e destroem membranas
- Seletividade de culturas por detoxificação, toponômica e sensibilidade diferencial da enzima
- Inibem a enzima 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase (HPPD) – F2
 - POS sistêmicos com residual
- Inibem a enzima 1-deoxi-D-xilulose 5-fosfato sintase (DOXP) – F3
 - PRE sistêmicos

Síntese de Homogentisato



Síntese de 1-Deoxi-D-xilulose 5-Fosfato





Infinity Injury
Green Foxtail

Setaria viridis



Infinity 0.1 X
Canola - 5 DAT '
F.A. Holm

Inibidores da enzima 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Isoxaflutole	Provence 750WG e Fordor 750 WG	Bayer	PRE e POS POS	Batata, milho, pinus e eucalipto Cana Algodão #	MD
Mesotrione	Callisto	Syngenta	POS	Cana e milho	MDT
Tembotrione	Soberan	Bayer	POS	Milho	DMT

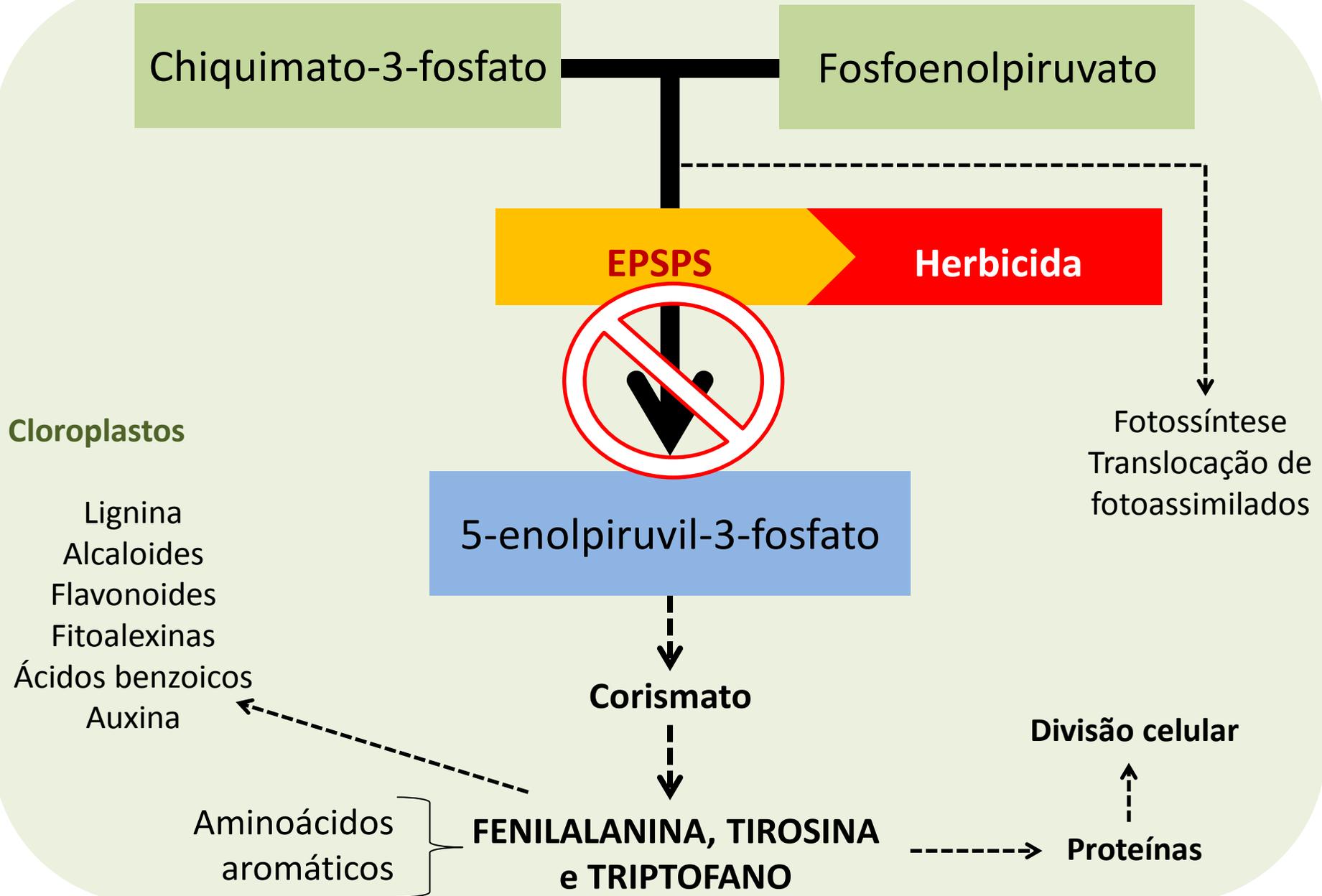
Inibidor da enzima 1-deoxi-D-xilulose 5-fosfato sintase

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Clomazone	Gamits	FMC	PRE e POS PRE	Algodão, arroz, cana # Soja #	DMT

G – Inibidores de EPSPS

- Inibe a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase
- Inibidor da síntese de aminoácidos
- POS sistêmico de amplo espectro
- Seletividade por transgenia
- Sem residual

Síntese de 5-enolpiruvil-3-fosfato





Glyphosate 440g - Stinkweed
F.A. Holm

Thlaspi arvensis



Sprayer Clean Out
Glyphosate on field pea
F.A. Holm

Pisum sativum subsp. arvense

Inibidor da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase

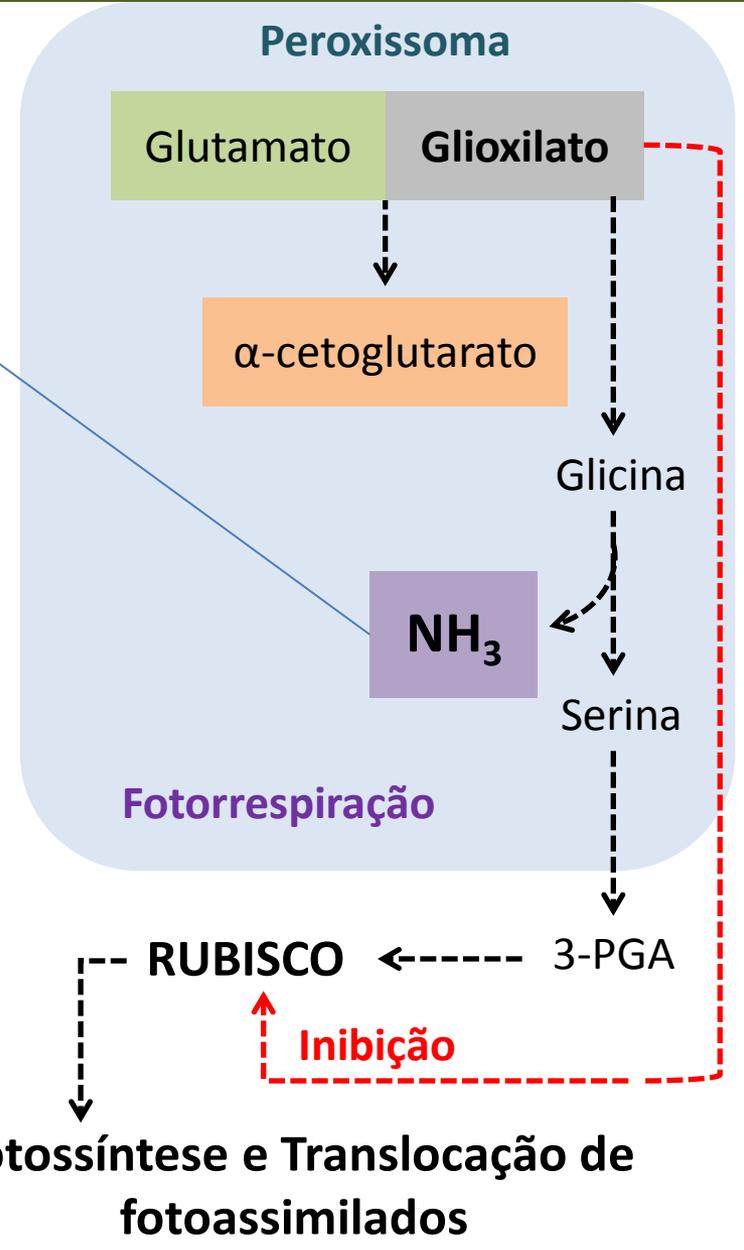
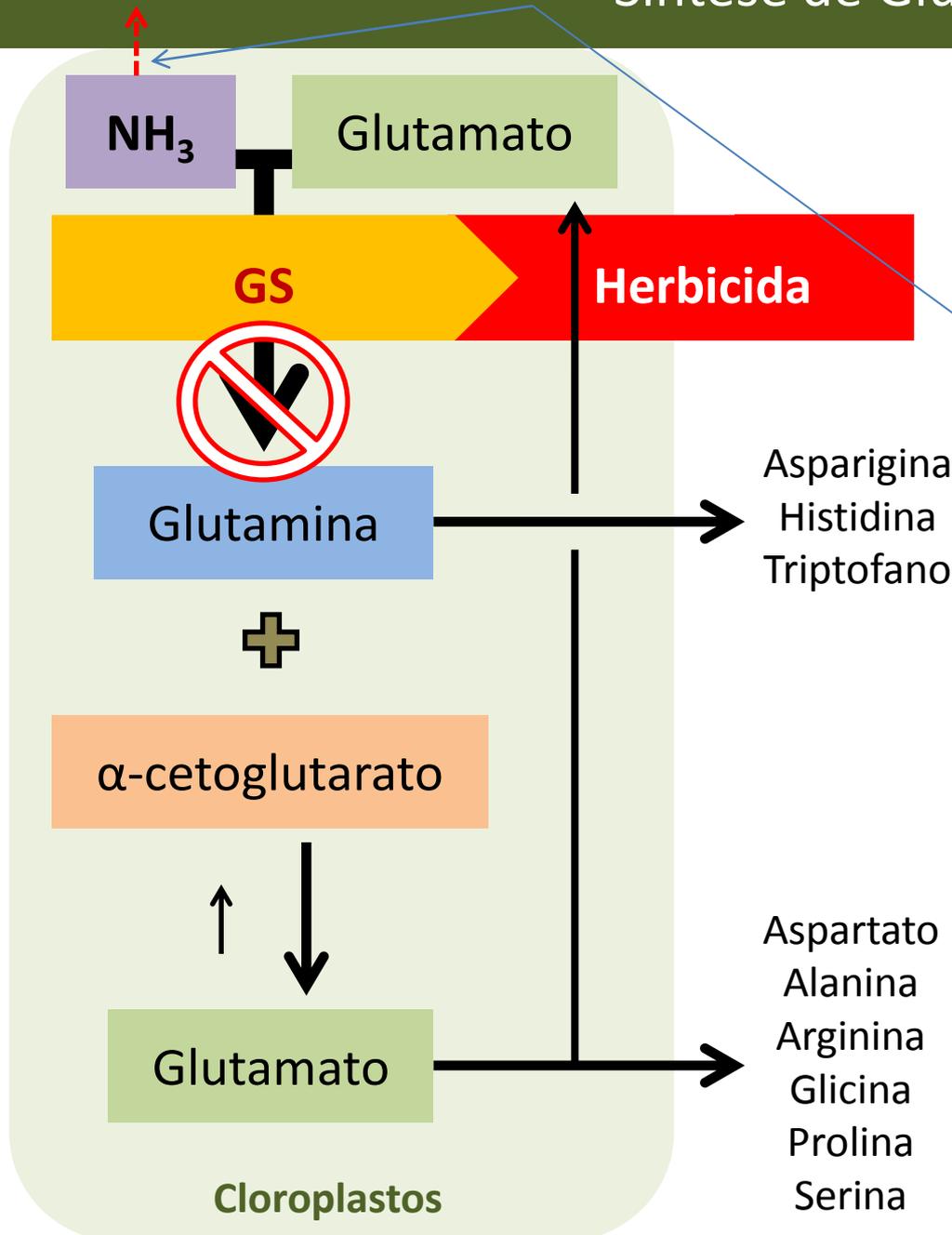
Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Glyphosate	Roundups, Scout etc. Glifosatos Glister Gli-up 480 SL Gliz 480 SL e Glizmax Polaris Touchdow e Zapp QI 620 Outros	Monsanto Agripec, Atanor, Atar, Nortox e Nufarm Sinon Cropchem Dow Du Pont Syngenta	POS	Não-seletivo <i>Soja RR e Milho RR (Roundup Ready)</i>	MD

H – Inibidores de GS

- Inibe a enzima glutamina sintetase
- Destrói membranas e inibe a síntese de aminoácidos
- POS contato de amplo espectro
- Seletividade por transgenia
- Sem residual

Acúmulo - Tóxico

Síntese de Glutamina



Fotossíntese e Translocação de fotoassimilados



Liberty 1x - Lambsquarters 7DAT
F.A. Holm

Chenopodium album



Liberty 500g - Canaryseed 12DAT

Phalaris canariensis

Inibidor da enzima glutamina sintetase

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Glufosinate-ammonium	Finale Liberty	Bayer	POS	Não-seletivo <i>Milho Liberty Link</i>	T

K – Inibidores da Divisão Celular

- Inibem o crescimento inicial de plântulas
- Seletividade de culturas por posição (toponômica)
- PRE contato / Persistência baixa (volatilização)
- Inibidores de microtúbulos – K1
 - Seletividade tb por insensibilidade da tubulina
- Inibidores da síntese de AGCML – K3
 - Detoxificação

Formação dos Microtúbulos

Tecidos em crescimento

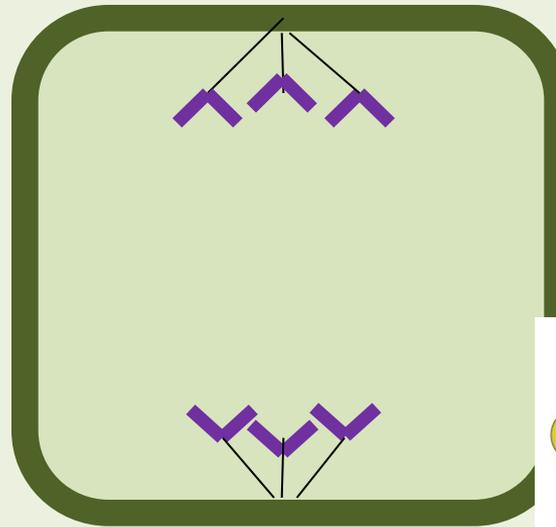
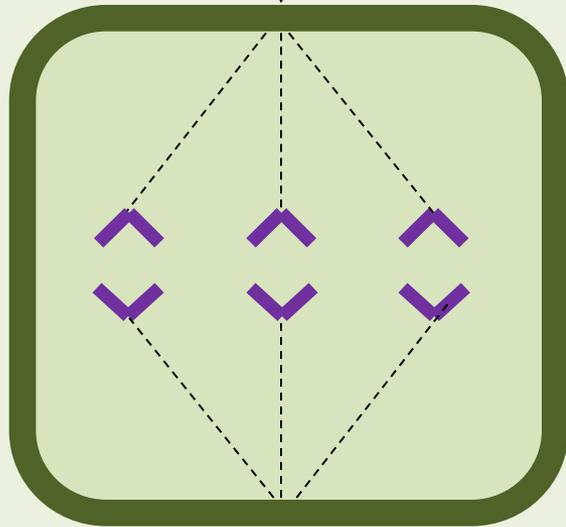
Microtúbulo

Tubulina

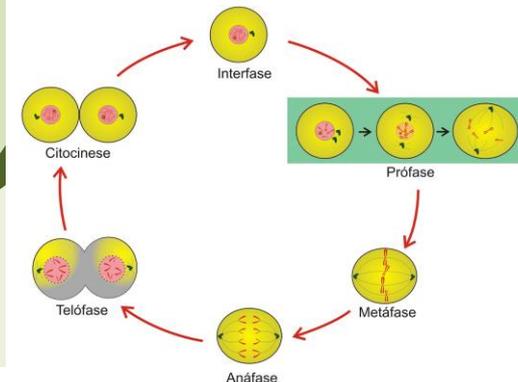
Herbicida



Inibe a FORMAÇÃO DOS MICROTÚBULOS e, como consequência, a Mitose



Divisão celular



Célula vegetal

Edge 1 X (1100g)
Barley
F.A. Holm



Cevada

Inibidores da formação de microtúbulos

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Pendimethalin	Herbadox e Herbadox 400 EC Pendulum	Basf	PRE ou PPI	Algodão, feijão, soja	MD
Trifluralin	Premerlin 600 CE e Trifluralina Trifluralinas Trifluralina	Milenia Nortox Atanor	PRE ou PPI	Algodão, feijão, soja	MD

Síntese de Ácidos Graxos de Cadeia Muito Longa (AGCML)

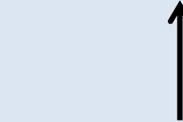
AGCL (C16-C18)

AGCML (C20-C30)

Ácido Palmítico

Ácido Esteárico

Ácido Merísico



Ácido Esteárico

Ácido Araquídico

Ácido Montânico



Ácido Cerótico



Ácido Oleico

Ácido Eicosenoico

Ácido Beênico



Ácido Lignocérico



Ácido Erúcico

Herbicida

Ácido Nervônico

Cloroplastos

Retículo endoplasmático

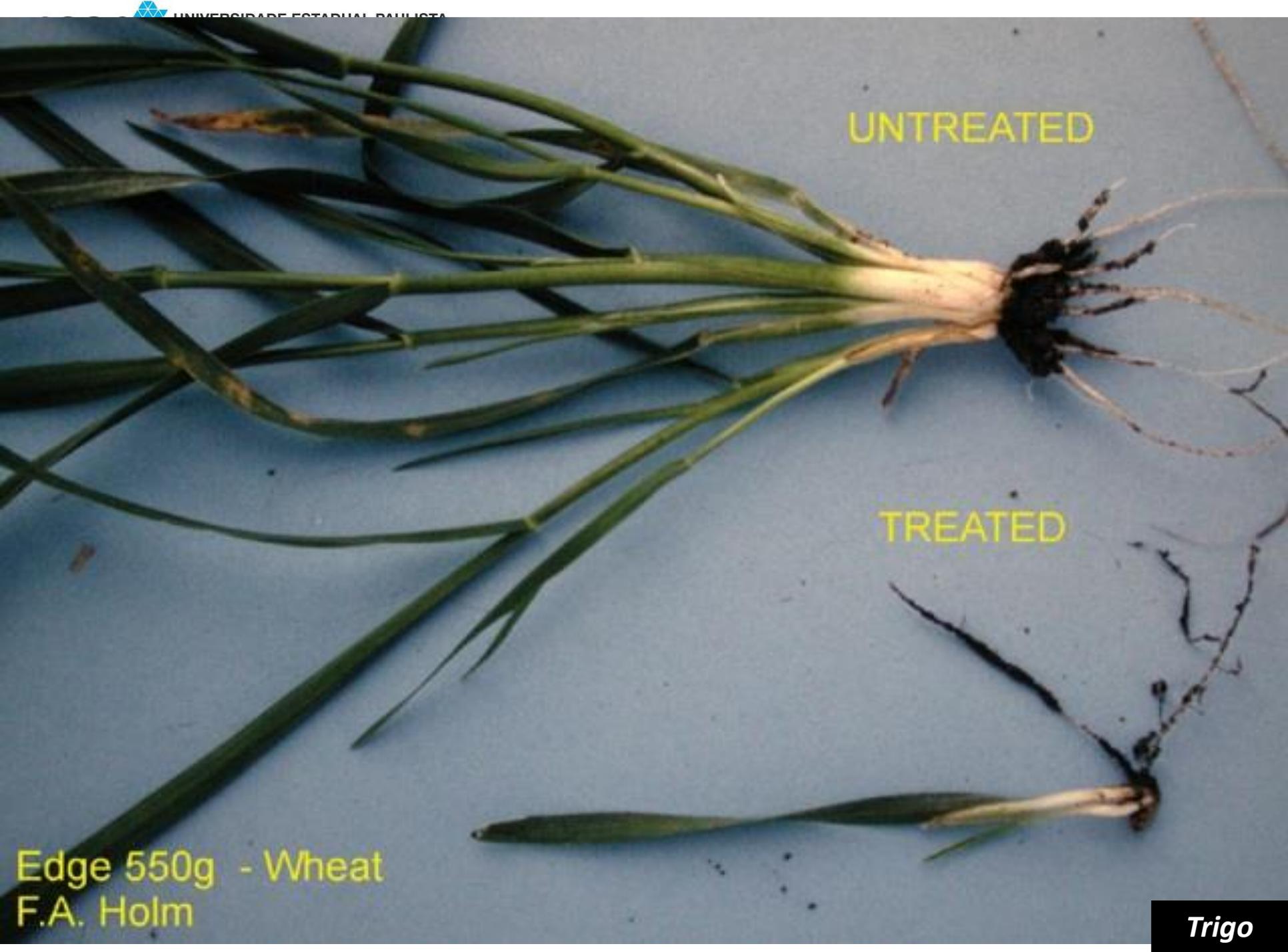
Divisão celular

Tanetani et al. (2009)

UNTREATED

TREATED

Edge 550g - Wheat
F.A. Holm



Inibidores da síntese de AGCML

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Alachlor	Alaclor	Nortox	PRE	Algodão, soja, cana e milho	DMT
S-Metolachlor	Dual Gold	Syngenta	PRE	Algodão, cana, feijão, milho e soja	DMT

O – Mimetizadores de Auxina

- Herbicidas hormonais (auxinas sintéticas)
- Agem em locais de ligação da auxina com proteínas da plasmalema
- Desregulam o crescimento celular (metabolismo)
- Seletivos a gramíneas em geral (exceto quinclorac) por absorção e translocação diferencial, além de detoxificação e exsudação radicular
- POS sistêmicos com residual
- Persistência baixa (exceto picloram)



MCPA Amine 0.7 kg/ha - Wild Mustard
F.A. Holm

Sinapis arvensis



2,4-D (420 gai/ha)
Wild Mustard Post E - 5 DAT
F.A. Holm

Sinapis arvensis

Mimetizadores de auxina = Auxinas sintéticas

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
2,4-D amine	Aminol 806 DMA 806 BR Navajo Pren-D 806 Outros	Milenia Dow Nufarm Prentiss	POS e PRE	Arroz, cana, cevada, centeio, milho, trigo, gramados, plantas aquáticas, soja, café etc.	DT
Triclopyr	Garlon 480 BR	Dow	POS	Arroz e pastagem	D

Mecanismos de Ação Não-Elucidados

Inibidor da síntese de lipídeos = Inibidor de Parte Aérea

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Thiobencarb	Saturn 500 CE	Iharabras	PRE	Arroz irrigado	MC

Inibidor Potenciais de Ácidos Nucleicos (WSSA)

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
MSMA	Ancosar 720 MSMA 720 SL Volcane	Sipcam Isagro Dow Luxembourg	POS	Não-seletivo	DM

Inibidor da síntese de celulose

Herbicida	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Indaziflam	Alion	Bayer	PRE	Arroz irrigado	MD

Misturas Formuladas

- Aumento do espectro de controle (+ eficácia)
- Redução de dose individual (- toxicidade)
- Menor efeito residual (- poluição)
- Redução de custos

Misturas Formuladas

Herbicidas	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Alachlor + Atrazine	Agimix Boxer	Milenia Monsanto	PRE	Milho Cana e milho	MD
Ametryn + Clomazone	Sinerge EC	FMC	PRE e POS	Algodão, cana	MDT
Atrazine + S-Metolachlor	Primaiz Gold Primestra Gold Primagran Gold	Syngenta	PRE e POS	Milho	MDT
Bentazon + Imazamox	Amplo	Basf	POS	Feijão	DT
Bromacil + Diuron	Krovar	Du Pont	PRE e POS	Abacaxi e citros	DMT
Carfentrazone + Clomazone	Profit	FMC	PRE	Algodão, arroz, soja #	DMT
Clethodim + Fenoxaprop	Podium S	Bayer	POS	Cebola, feijão, soja	G
Clomazone + Hexazinone	Ranger Discover 500 WP	Du Pont FMC	PRE	Cana #	MDT
Diuron + Hexazinone	Advance e Velpar K WG Hexaron WG e Jump	Du Pont Milenia	PRE e POS	Cana	MDT

Seletividade condicional

Misturas Formuladas

Herbicidas	Nome Comercial	Fabricante	Tipo	Seletividade	Cont
Diuron + Paraquat	Gramocil	Syngenta	POS	Algodão, café, cana, citros	DMT
2,4-D amine + Picloram	Dontor Norton	Dow Nortox	POS	Arroz, cana e pastagem	D
Fluazifop + Fomesafen	Fusiflex Robust	Syngenta	POS	Feijão e soja	DM
Glyphosate + Imazethapyr	Alteza 30 SL	Basf	POS	Não-seletivo (Soja)	DMT
Imazapic + Imazethapyr	Only	Basf	PRE e POS	Arroz irrigado	DMS C
Propanil + Thiobencarb	Satanil EC Grassmax	Iharabras	POS	Arroz	M

Resistência a Herbicidas

Conceitos

- **Susceptibilidade:** incapacidade de sobrevivência das plantas após exposição ao herbicida, *desde que aplicado em doses e condições recomendadas pelo fabricante.*
- **Tolerância:** capacidade inata da espécie em sobreviver e se reproduzir após exposição ao herbicida, *desde que aplicado em doses e condições recomendadas pelo fabricante.*

Conceitos

- **Resistência:** capacidade adquirida por determinado grupo de indivíduos dentro da população (biótipo) em sobreviver e se reproduzir após exposição ao herbicida que controla outros indivíduos da mesma espécie
...desde que aplicado em doses e condições recomendadas pelo fabricante.

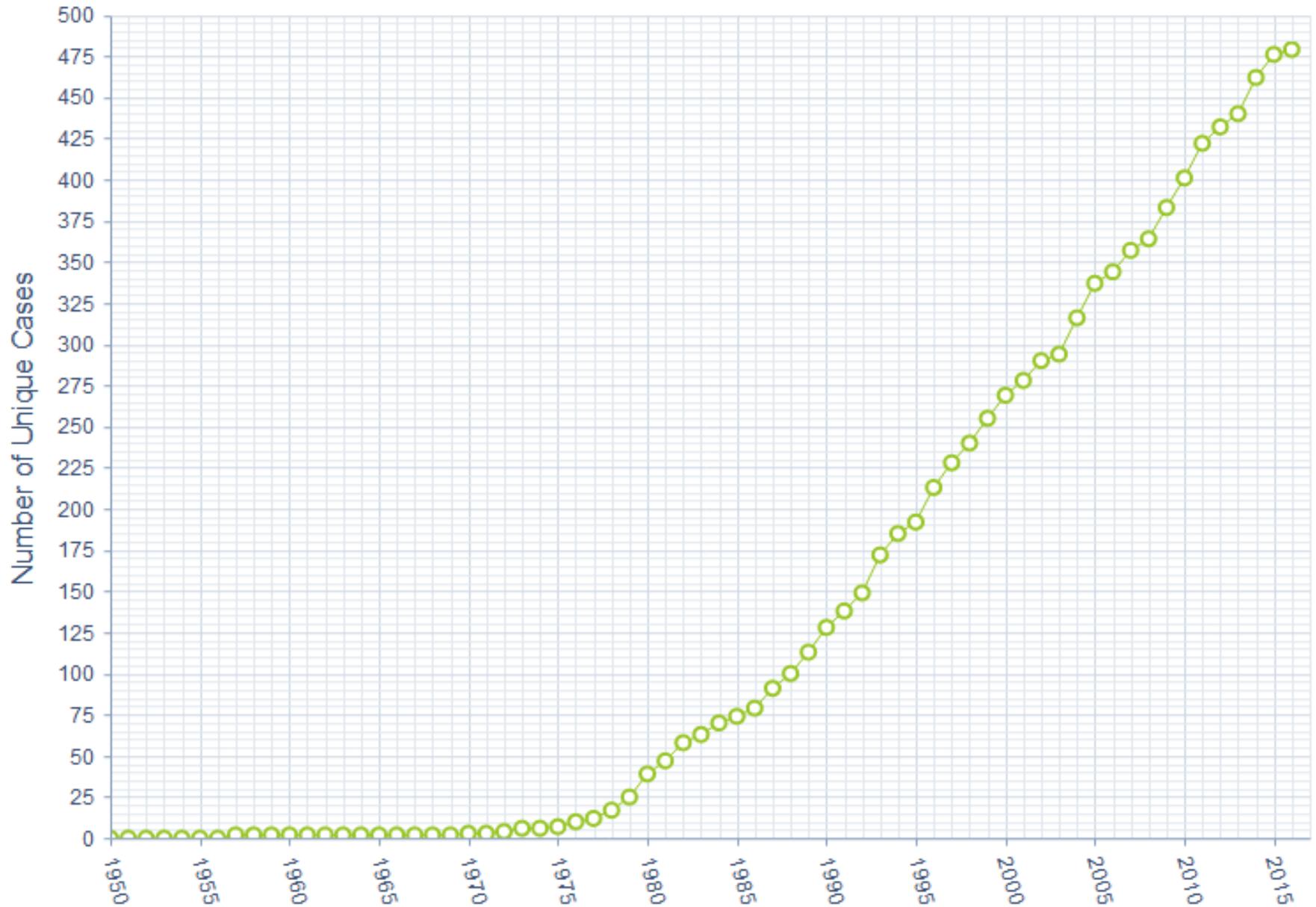
Tolerância



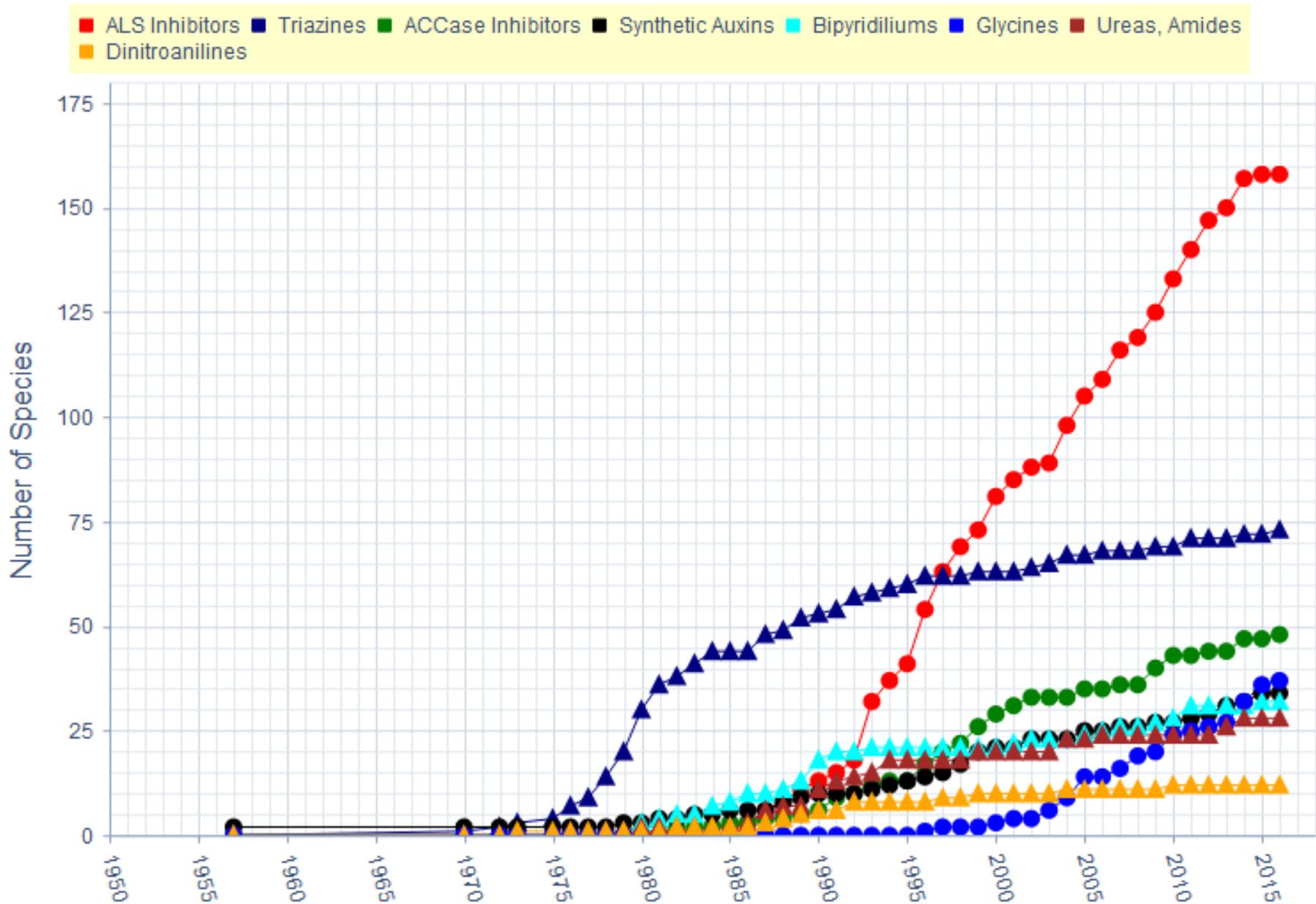
Resistência



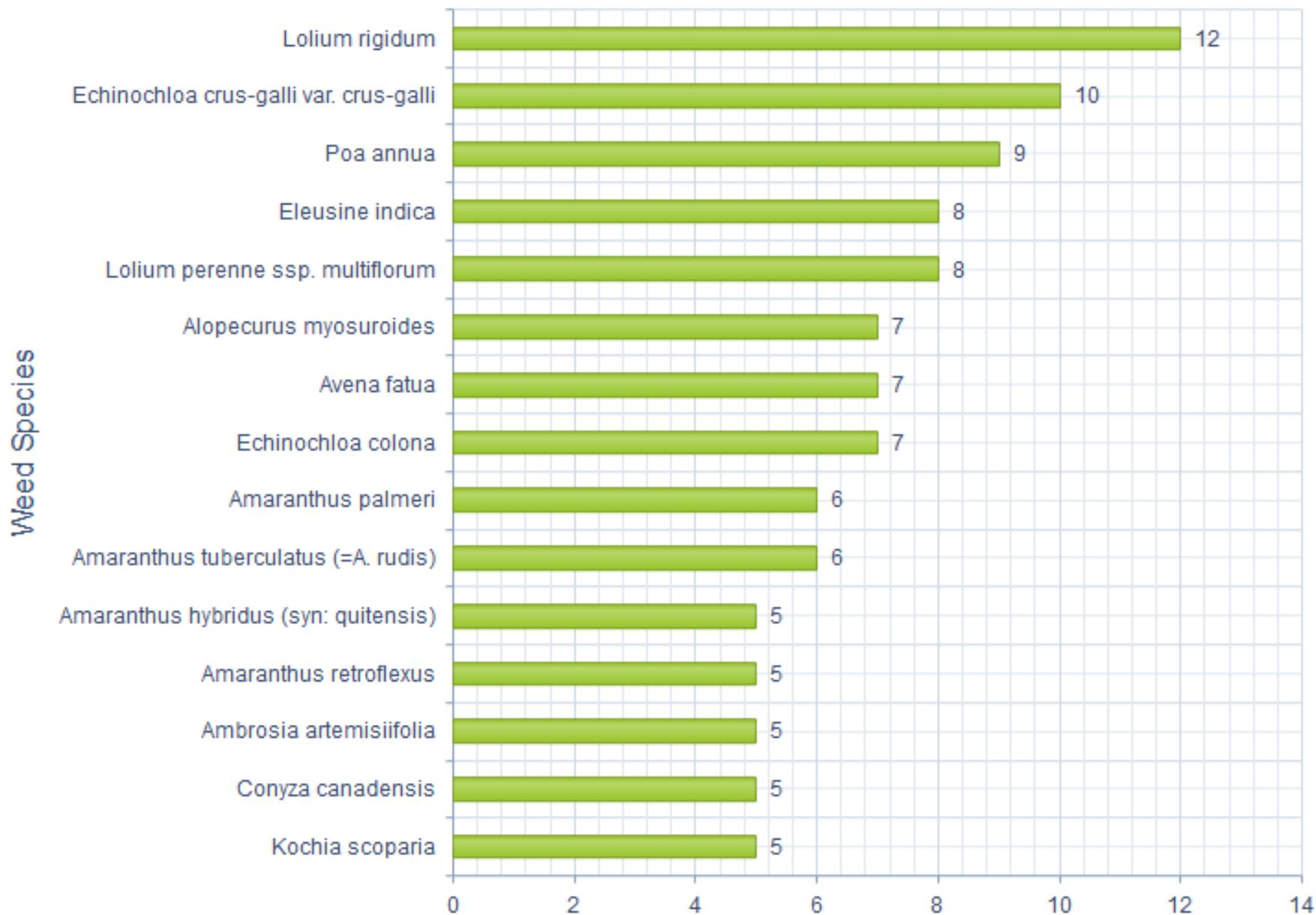
Chronological Increase in Resistant Weeds Globally



Chronological Increase in Resistant Weeds Globally



Resistant Species by # of Sites of Action (Top 15)



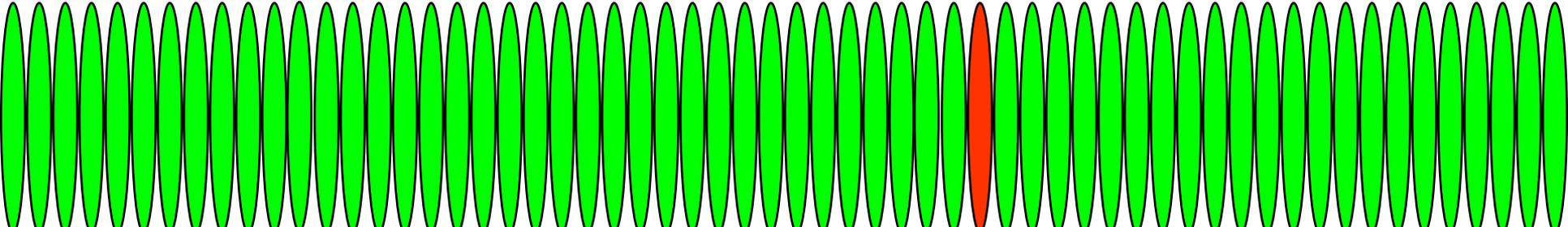
Tipos de Resistência

- **Simple ou isolada:** resistência a um herbicida específico de um mecanismo de ação.
- **Cruzada:** resistência a dois ou mais herbicidas do mesmo mecanismo de ação.
- **Múltipla:** resistência a dois ou mais herbicidas de mecanismos de ação diferentes.

Evolução da Resistência

- Pressão de seleção (variabilidade genética)
- Mutações genéticas???

População susceptível

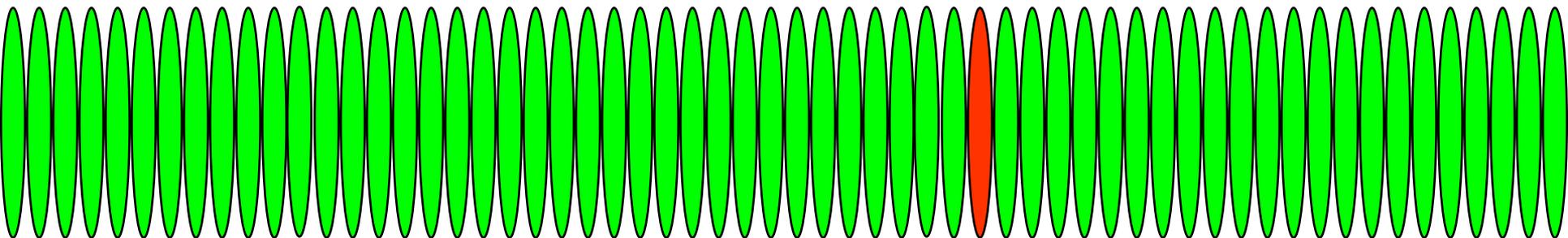


 **Biótipo susceptível**

 **Biótipo resistente**

População susceptível

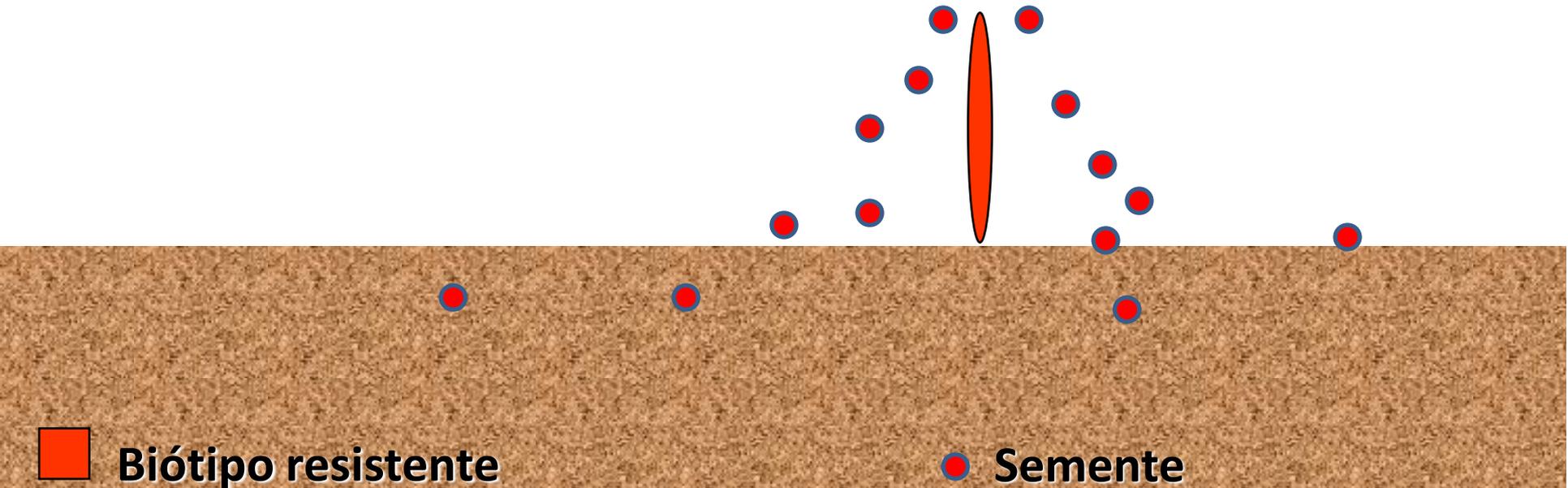
Pulverização do herbicida



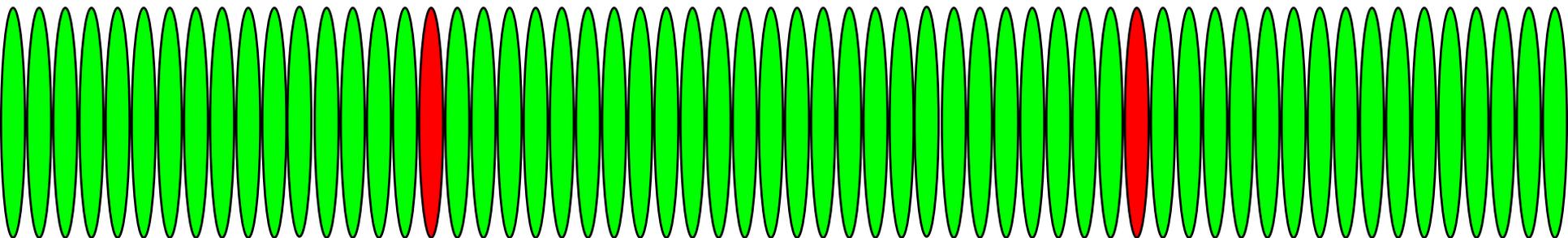
 **Biótipo susceptível**

 **Biótipo resistente**

Remanescentes resistentes



População ainda susceptível

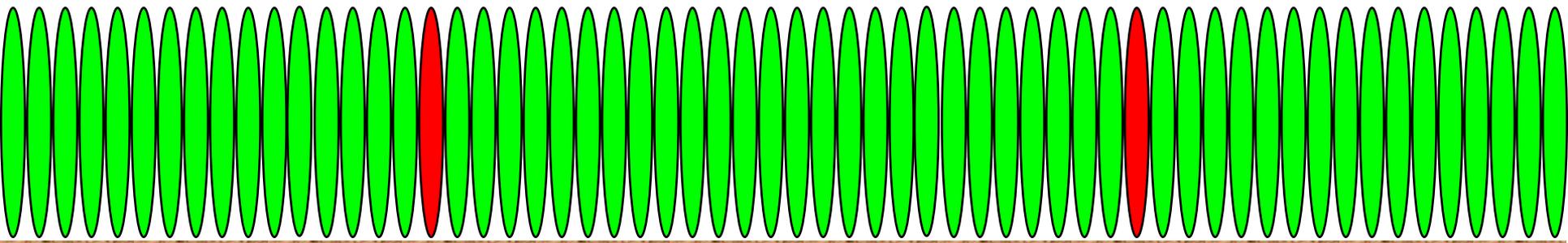


 **Biótipo susceptível**

 **Biótipo resistente**

População ainda susceptível

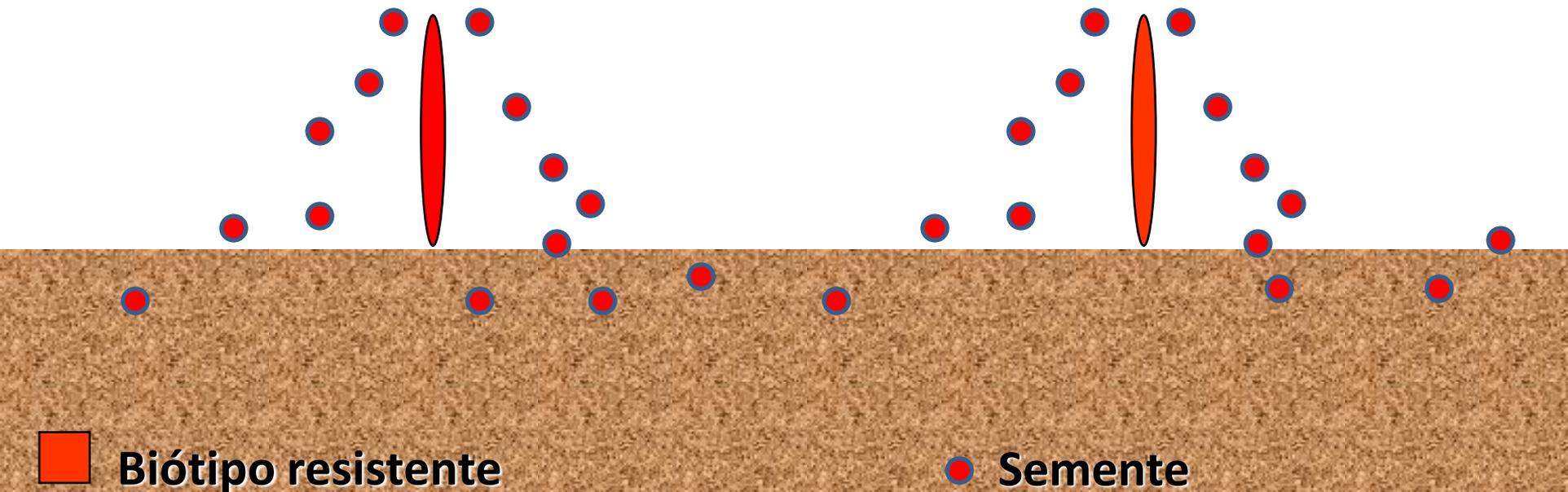
Pulverização do herbicida



 **Biótipo susceptível**

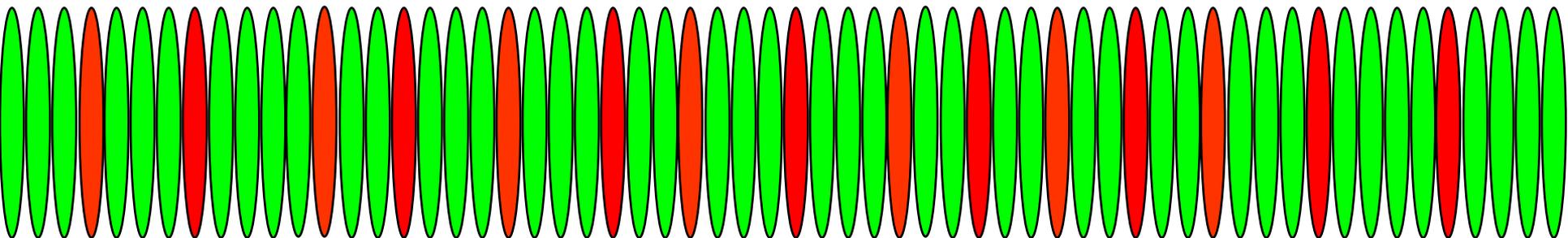
 **Biótipo resistente**

Remanescentes resistentes



"Após algumas pulverizações"

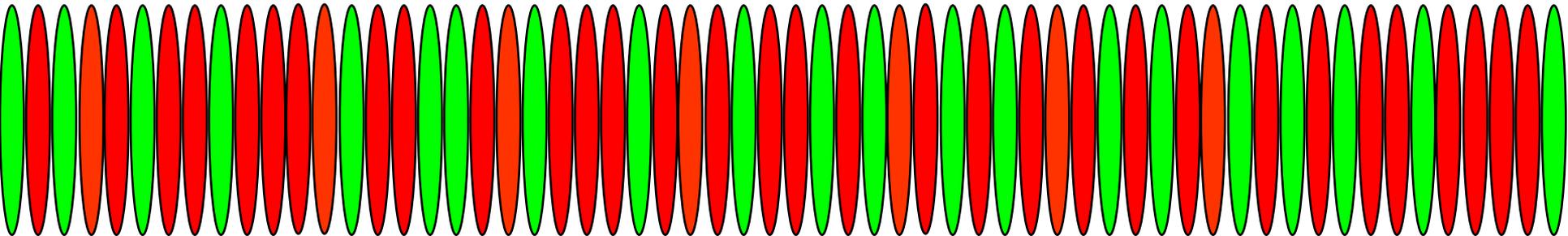
População moderadamente susceptível



-  **Biótipo susceptível**
-  **Biótipo resistente**

"Após muitas pulverizações"

População resistente

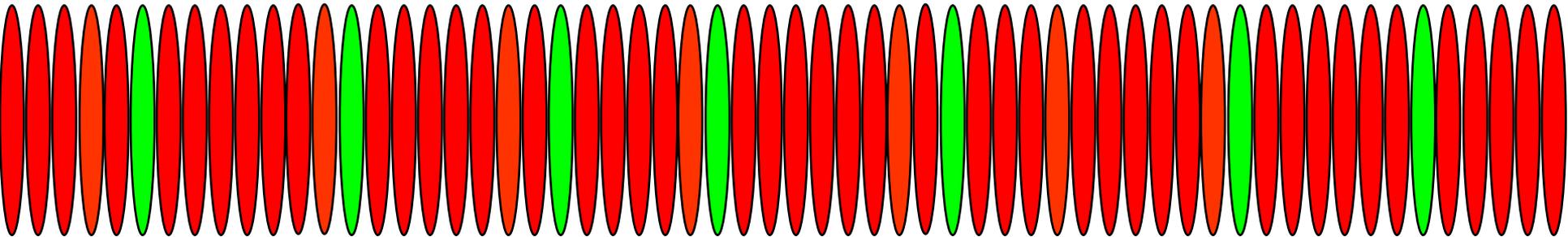


 **Biótipo susceptível**

 **Biótipo resistente**

"Caso continue pulverizando..."

População muito resistente

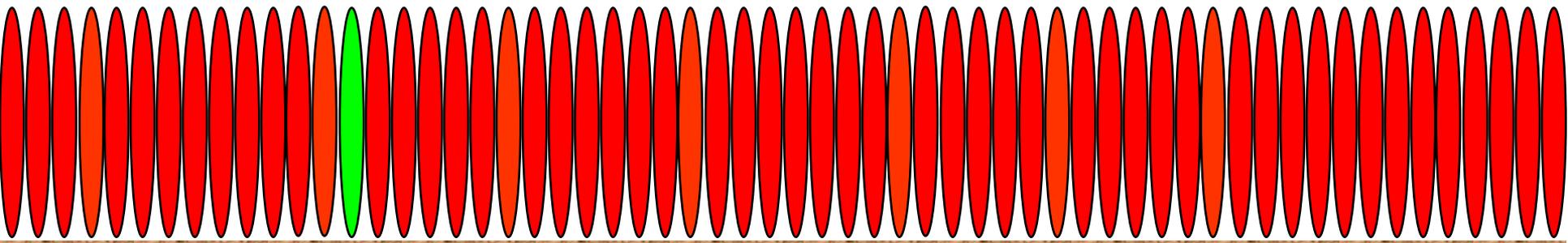


 **Biótipo susceptível**

 **Biótipo resistente**

“Caso não sejam tomadas medidas apropriadas”

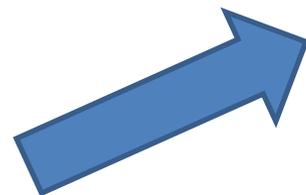
População extremamente resistente



 **Biótipo susceptível**

 **Biótipo resistente**

Estabelecimento inicial do biótipo resistente



~ 200 000 SEMENTES



Fatores que Afetam a Evolução

- Genéticos: frequência inicial da resistência, dominância e número dos alelos de resistência, tipo de polinização;
- Bioecológicos: espécie, agressividade da espécie, grau de infestação, grau de susceptibilidade da espécie ao herbicida;
- Manejo: herbicida, tecnologia de aplicação, MIPD, uso repetido e frequência de uso do herbicida, sistema de cultivo.

Risco de Evolução da Resistência

Manejo	Baixo	Médio	Alto
Mecanismo usado	> 2	2	1
Mistura de herbicidas	> 2 mecanismos	2 mecanismos	1 mecanismo
Método de controle	Cultural, mecânico e químico	Cultural e químico	Químico
Rotação de culturas	Completa	Limitada	Nenhuma
Infestação	Baixa	Média	Alta
Controle nos últimos 3 anos	Bom	Declinando	Ruim

Mecanismos de Resistência

- Alteração do local de ação = perda de afinidade pelo local de ação
- Metabolização = detoxificação
- Compartimentalização = redução da concentração do herbicida no local de ação

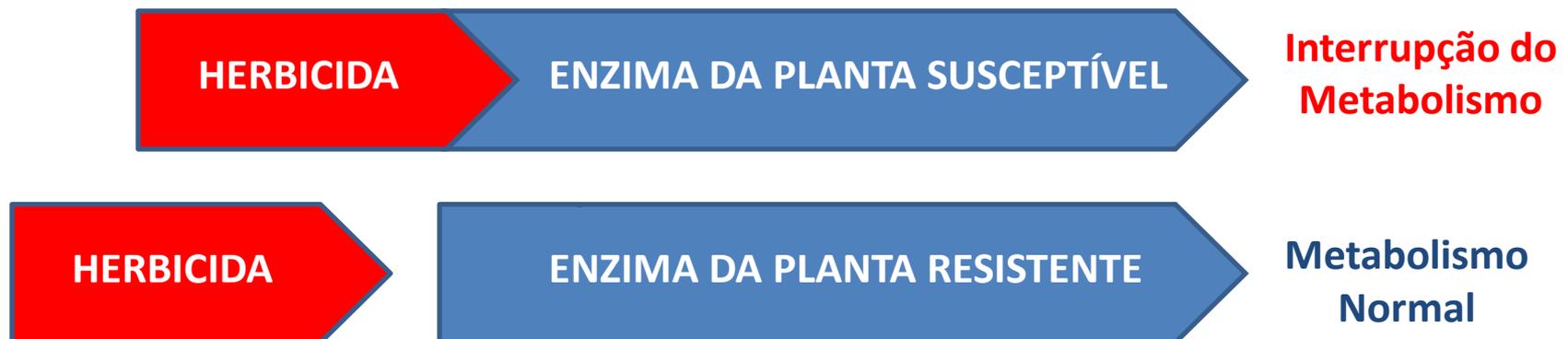
Alteração do Local de Ação

- Refere-se a mutações que ocorrem no local de ação do herbicida
- A molécula herbicida não consegue mais inibir o local de ação devido a alterações na estrutura deste local



Alteração do Local de Ação

- Refere-se a mutações que ocorrem no local de ação do herbicida
- A molécula herbicida não consegue mais inibir o local de ação devido a alterações na estrutura deste local



Metabolização

- Refere-se à degradação do herbicida pelas plantas
- Participação importante de três enzimas
 - citocromo P450 monooxigenases (cyt P450 MO)
 - glutathiona-S-transferase (GST)
 - superóxido desmutase (SOD)

Enzimas envolvidas em reações de oxidação e conjugação

Compartimentalização

- Refere-se à ligação do herbicida na cutícula ou na parede celular...
- ...ou armazenamento em locais inativos (vacúolo)
- ...reduzindo a absorção e/ou translocação e, conseqüentemente, a quantidade de herbicida que atinge o local de ação

Diagnóstico

FALHA DE CONTROLE (é resistência???)

- Tecnologia de aplicação está adequada?
- Falha no controle de uma espécie apenas?
- Plantas não são resultados de reinfestação (novos fluxo de emergência)?

Todas respostas afirmativas...

Diagnóstico

- Usa repetitivamente herbicidas do mesmo mecanismo de ação?
- Há perda de eficiência no controle?
- Há casos de resistência já relatados para este herbicida?
- Não há perda de eficiência para outras espécies?

Resposta a uma ou mais perguntas afirmativas...

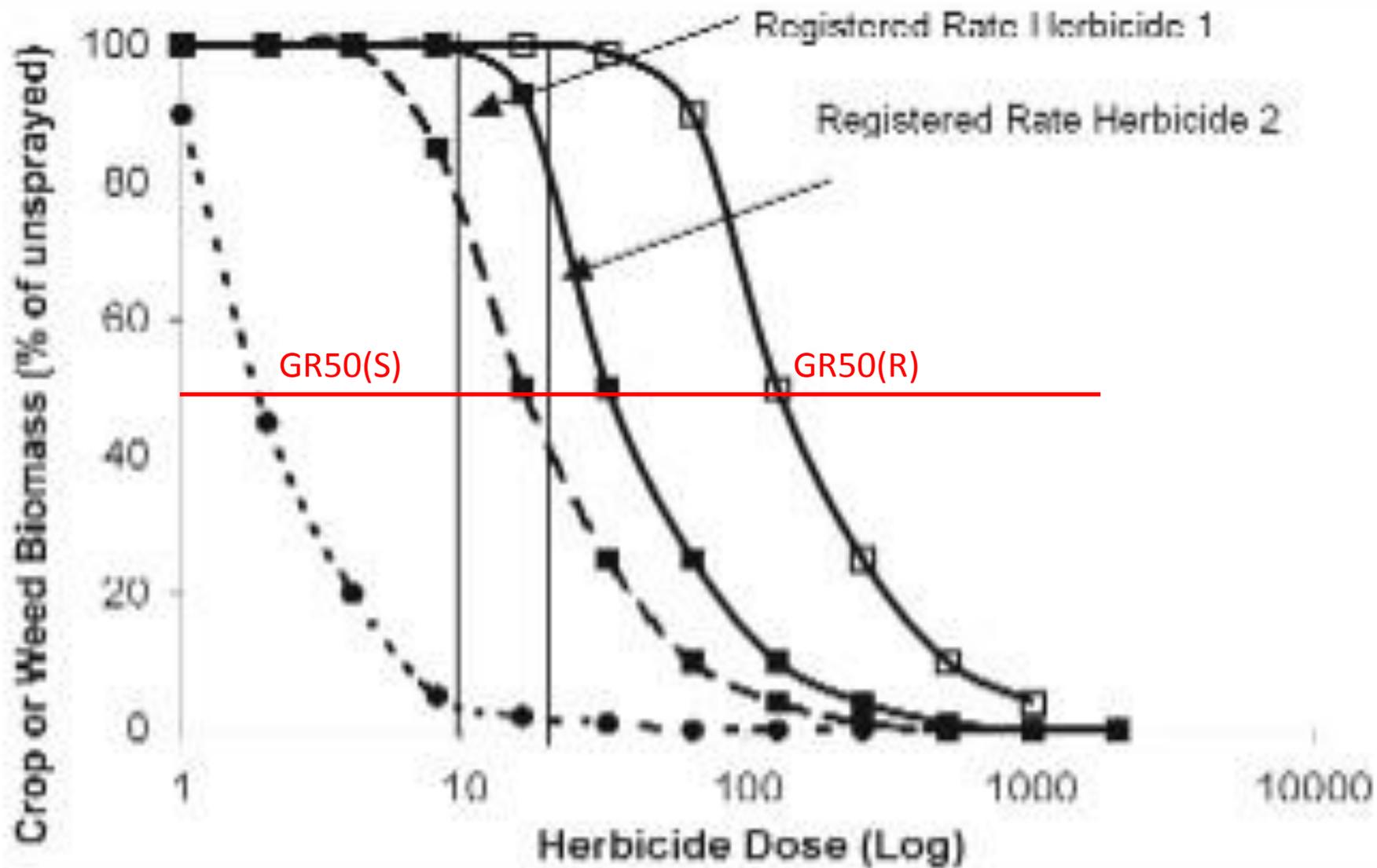
Confirmação

- Testes de dose-resposta
- Coletar sementes das plantas que não morreram com a aplicação do herbicida a campo
- Coletar sementes de plantas de uma população nunca exposta ao herbicida
- Semear em vasos
- Aplicar doses crescentes do herbicida (X):
X/16, X/8, X/4, X/2, X, 2X, 4X, 8X e 16X

Confirmação

- Em duas ou quatro semanas, dependendo do produto, avaliar o controle e a biomassa produzida
- Processar as regressões segundo modelos logísticos/sigmoidais
- Calcular a dose necessária para reduzir o crescimento em 50% (DL50, ED50, GR50...)
- Calcular o fator de resistência (FR)

$$FR = GR50(R) / GR50(S)$$



- ● - Weed

—■— Crop (poor weather) Herbicide 1

—■— Crop (good weather) Herbicide 1

—□— Crop (good weather) Herbicide 2

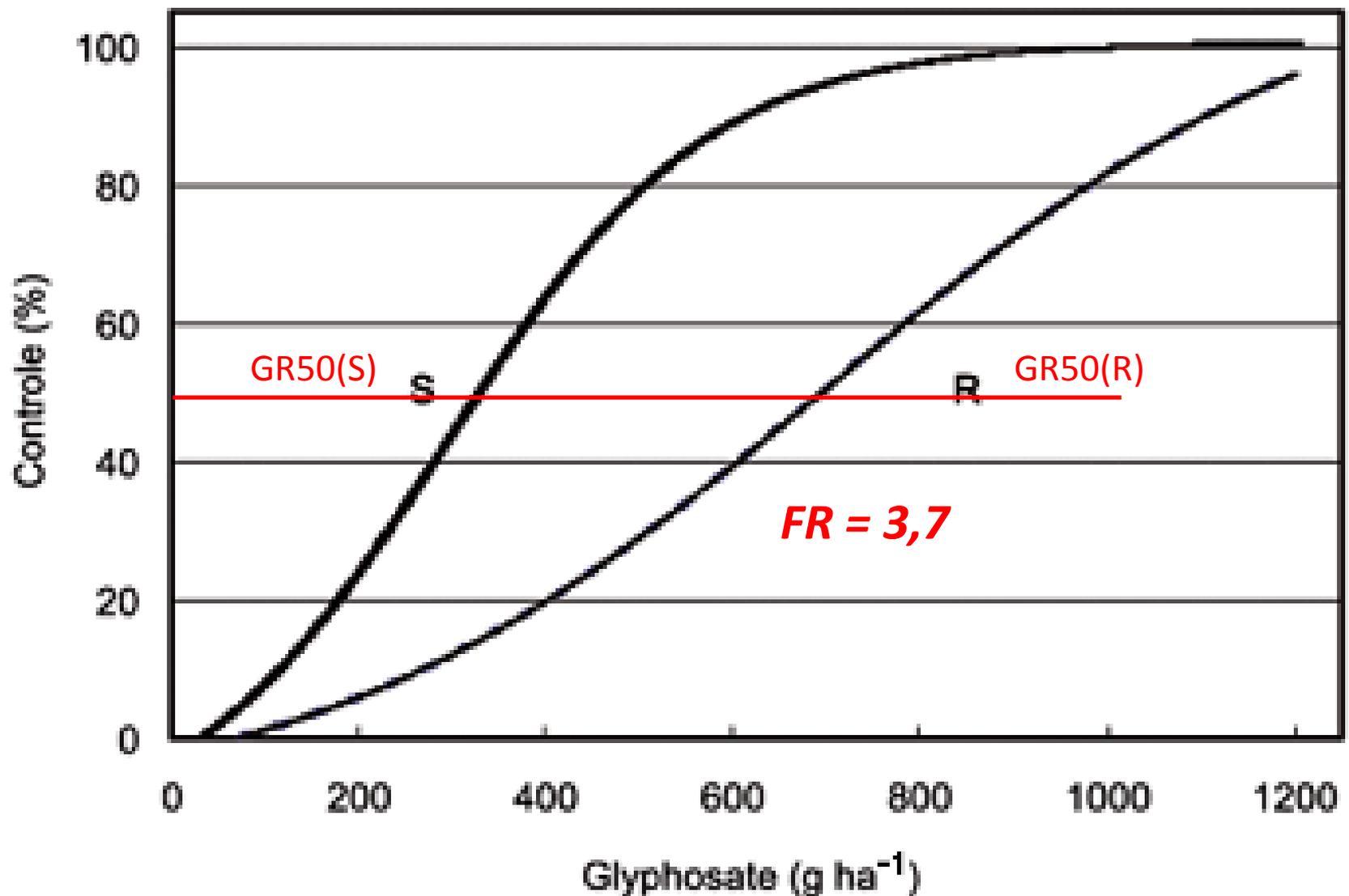
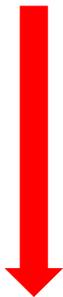


Figura 2 - Controle (%) de *Conyza canadensis* suscetível (S) e resistente (R) ao glyphosate, avaliado 14 dias após aplicação dos tratamentos.

FALTA DE CONTROLE (é resistência???)



Conyza sp. resistente ao glyphosate



Azevém (*Lolium multiflorum*) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) resistentes aos herbicidas inibidores de ALS



Evitando a Evolução da Resistência

- Rotacionar mecanismos de ação;
- Realizar aplicações sequenciais;
- Usar misturas de herbicidas com diferentes mecanismos de ação e de destoxificação;
- Usar herbicidas de menor pressão de seleção (baixo residual e amplo espectro);
- Rotacionar culturas e sistemas de cultivo;
- Realizar monitoramento e MIPD (prevenção).