

Herbicidas:

Conceitos e Mecanismos de Ação

Profa. Dra. Naiara Guerra

Ementa

- Introdução ao uso de herbicidas
- Classificações
 - Quanto a seletividade
 - Quanto a época de aplicação
 - Quanto a translocação
 - Quanto ao mecanismo de ação

Inibidores de ALS

Inibidores de EPSPs

Inibidores da GS

Inibidores de ACCase

Inibidores do Fotossistema I

Inibidores do Fotossistema II

Inibidores de Prototox

Inibidores da Biossíntese de Carotenóides

Mimetizadores de Auxinas (auxinas sintéticas)

Inibidores da formação de ácidos graxos de cadeia longa

Inibidores da Polimerização de Tubulina

Introdução ao Estudo dos Herbicidas

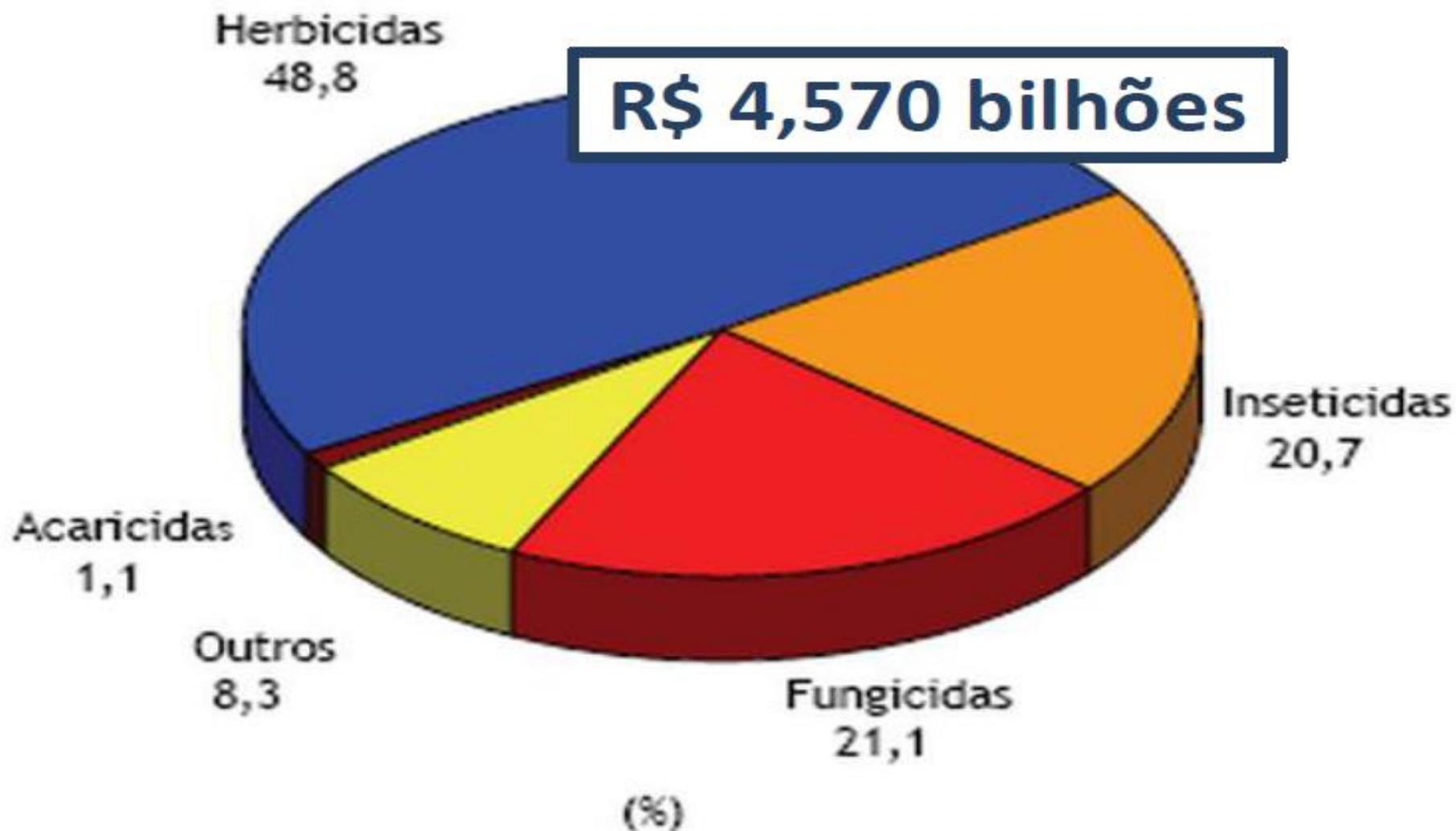
Herbicidas

São agentes biológicos ou substâncias químicas capazes de matar ou suprimir o crescimento de espécies específicas de plantas.

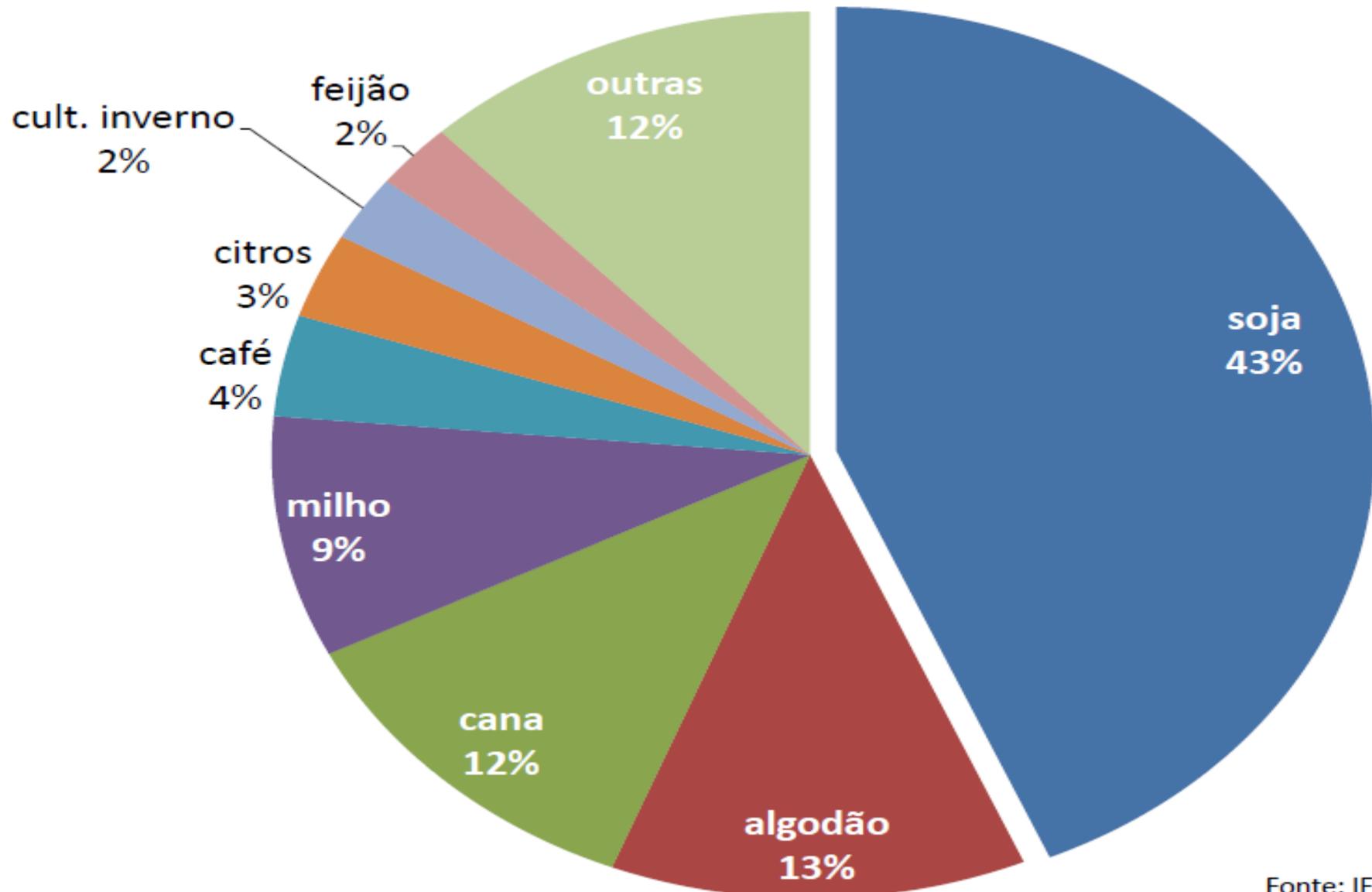
Dados sobre os herbicidas



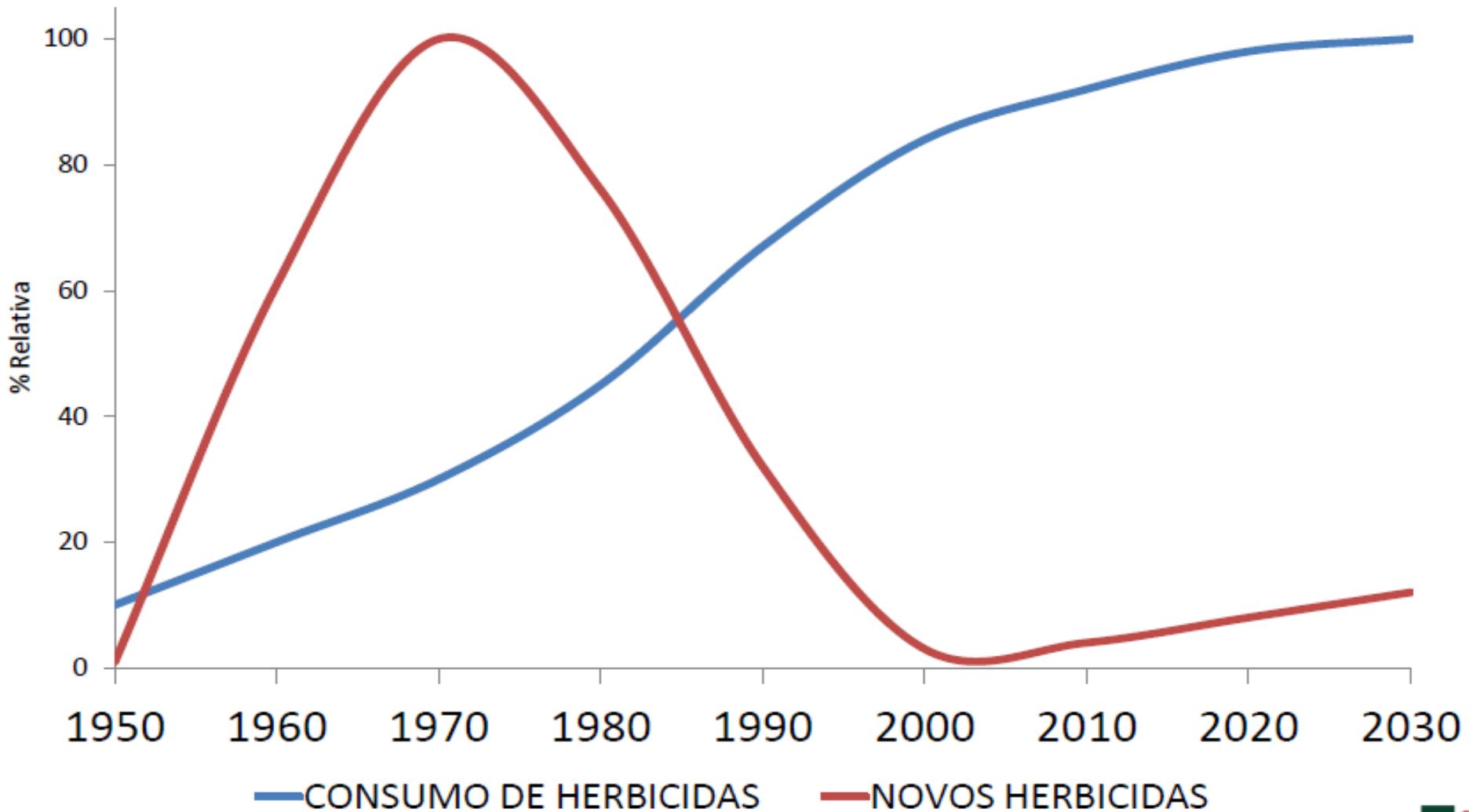
Consumo de agrotóxicos - Brasil



Mercado de herbicidas por atividade agrícola



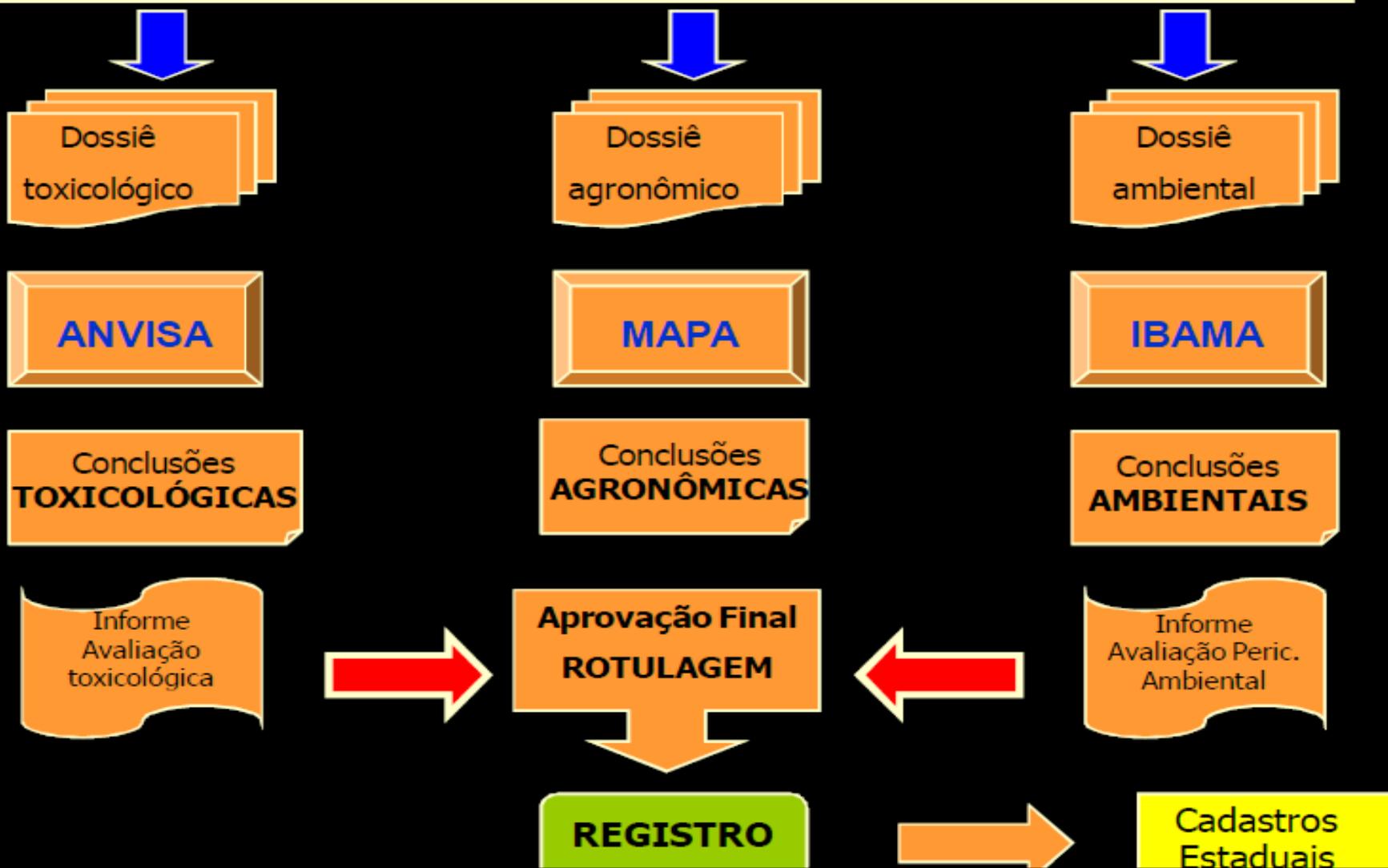
Produção x Consumo



Custo para desenvolvimento de nova molécula

- US\$ 200 -300 milhões
- **Brasil**
 - Novo: US\$ 40-50 milhões
 - Formulação - US\$ 60 mil
 - Extensão de uso - US\$ 30 mil

EMPRESA SOLICITA O REGISTRO DO PESTICIDA simultaneamente nos 3 órgãos regulatórios



Para que pode ser usado?

- Controle de plantas daninhas (herbicidas)
- Controle de vegetação de cobertura (dessecação pré-semeadura)
- Desfolhar culturas - dessecação pré-colheita (desfolhantes)
- Uniformizar a maturação da cultura (maturadores)

Aspectos positivos

- Previne a interferência precoce
- Controle efetivo nas linhas de semeadura
- Flexibilidade quanto a época de aplicação – áreas extensas
- Redução do tráfego de máquinas
- Rendimento operacional elevado
- Menor necessidade de mão de obra

Limitações

- Toxicidade para homens e animais
- Necessidade de equipamentos adequados de aplicação e proteção, além de operador treinado
- Resíduos para plantas cultivadas em sucessão – “carryover”
- Resíduos nas plantas utilizadas para a alimentação, tornando-as imprópria para o consumo
- Problemas ambientais – 2,4-D –Paraná

Limitações

- Resistência
- Danos a cultura
- Eficiência depende de fatores externos

Aspectos a considerar na escolha do herbicida

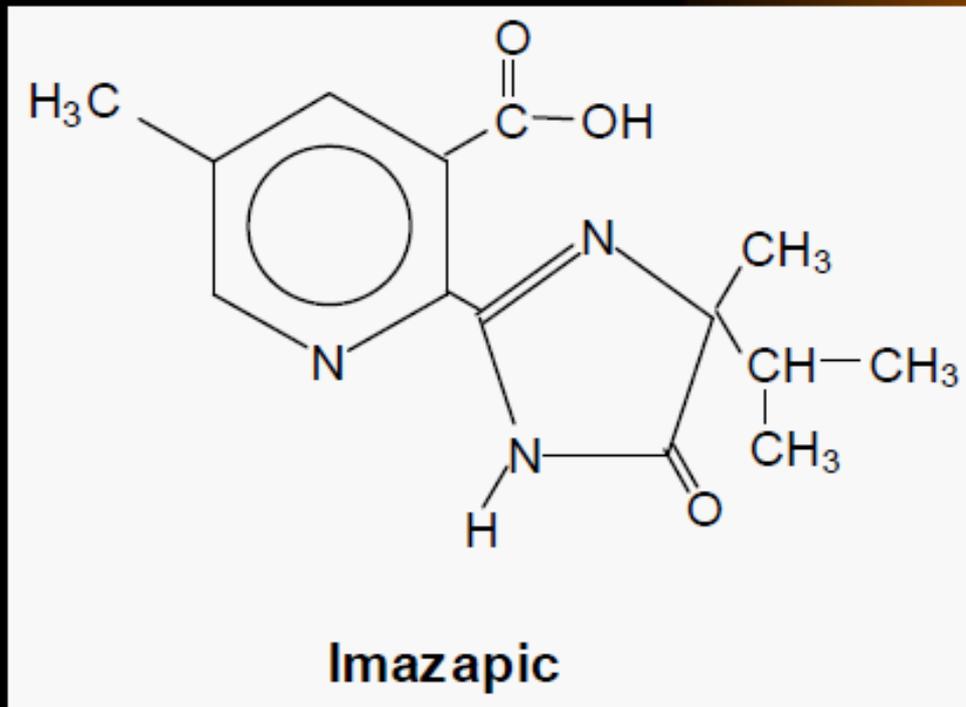
- Registro do herbicida para uso na cultura
- Eficiência sobre a infestação predominante da área
- Estádio de desenvolvimento das plantas daninhas
- Estimar período necessário de controle
- Custo por unidade de área
- Disponibilidade para aquisição no mercado
- Menor toxicidade ao homem e ao ambiente

-
- Efeito residual para culturas em rotação “carryover”
 - Menor potencial de contaminação ambiental (deriva, lixiviação, runoff)
 - Adequação do equipamento disponível para aplicação
 - Maior flexibilidade quanto à época de aplicação
 - Adequação ao sistema de plantio adotado na propriedade (direto/convencional)
 - Potencial de seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas

Formas de classificação

-
- Quanto a seletividade
 - Quanto a época de aplicação
 - Quanto a translocação
 - Quanto ao mecanismo de ação

Nomenclatura



Nome químico

Nome comum

Nome comercial

2-[4-isopropil-4-metil-5-oxo-2-imidazolin-2-il]-5-ácido metilnicotínico

Imazapic

Plateau

Quanto a seletividade

- **Herbicidas seletivos** – são tolerados pela cultura em determinada situação
- **Seletividade genuína**: sob determinadas condições os herbicidas são tolerados pela cultura (seletividade biológica ou fisiológica)
- É relativa, pois depende do estágio de desenvolvimento das plantas, das condições climáticas, do tipo de solo, da dose aplicada, etc.

Ex. 2,4-D (cana), atrazina (milho), imazethapyr (soja)

TESTEMUNHA



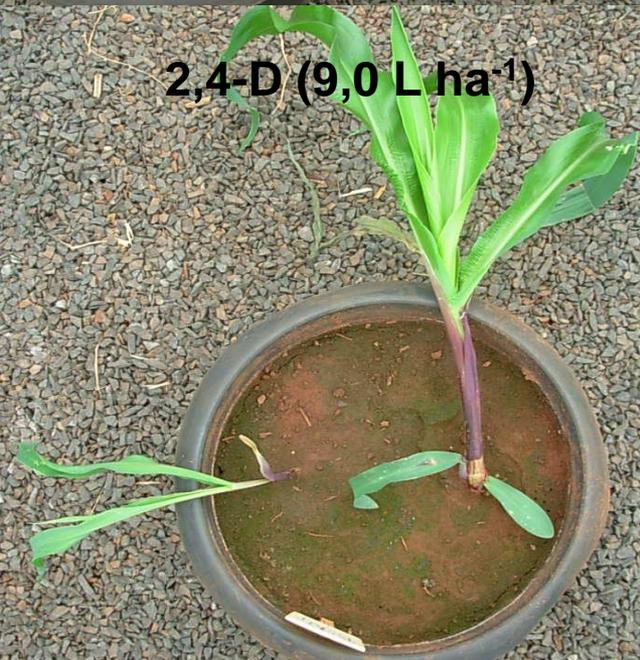
2,4-D (1,0 L ha⁻¹)



2,4-D (4,5 L ha⁻¹)

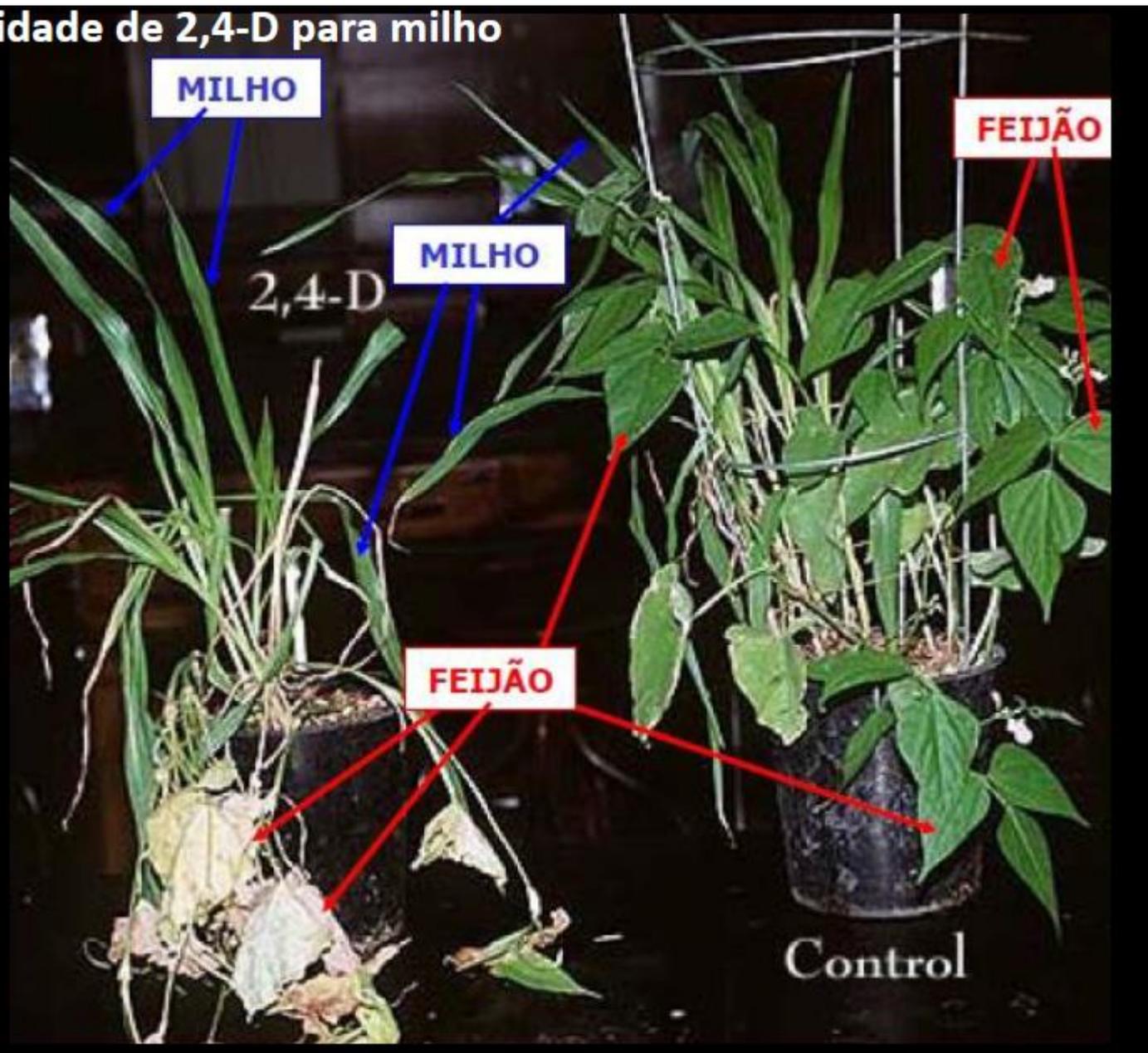


2,4-D (9,0 L ha⁻¹)



DMA 806

Seletividade de 2,4-D para milho



-
- **Seletividade adquirida:** seletivos por transgenia, inserção de um gene que garante a tolerância a determinado herbicida

Ex.

Glyphosate (soja, milho, algodão - Roundup Ready - RR)

Glufosinate (milho, soja, trigo, algodão - Liberty Link – LL)

Imazepyr + Imazapic (Onduty) (soja - Soyvance)

Imazapic + Imazethapyr (Only) (arroz irrigado - Clearfield)

Soja Transgênica



Soja Convencional



- **Herbicidas não seletivos**

- Apresentam amplo espectro de ação, capazes de matar ou causar injúrias à maior parte das plantas quando aplicados na dose recomendada
- Ex.: glyphosate, paraquat, diquat, glufosinate

Girassol



Pardner 28 g - Sunflower (large) 4DAT
F.A. Holm

Trigo



Glyphosate 270 g (0.3L/ac)
Wheat - 10 DAT
F.A. Holm



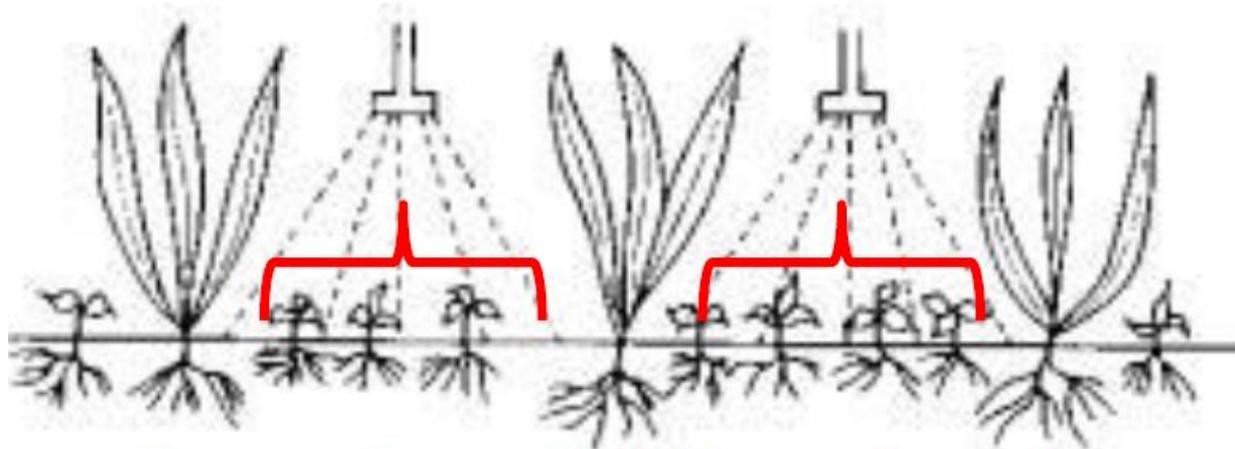
Glufosinate
Barley
F.A. Holm

Cevada

- **Seletividade por posição**

- Seletivos por não entrarem em contato com as plantas
 - Espaço físico separa os tecidos sensíveis da planta e doses tóxicas do herbicida
-
- **Jato dirigido (POS)**: herbicidas não seletivos aplicados na entrelinha da cultura (paraquat, glyphosate)
-
- **Toponômica (PRE)**: pedimenthalin no solo para o milho (o herbicida é aplicado no solo e não incorporado, dessa forma não entra em contato com as sementes do milho)

Jato dirigido



Zonas tratadas com o herbicida sem ação no solo





Protetores de barra

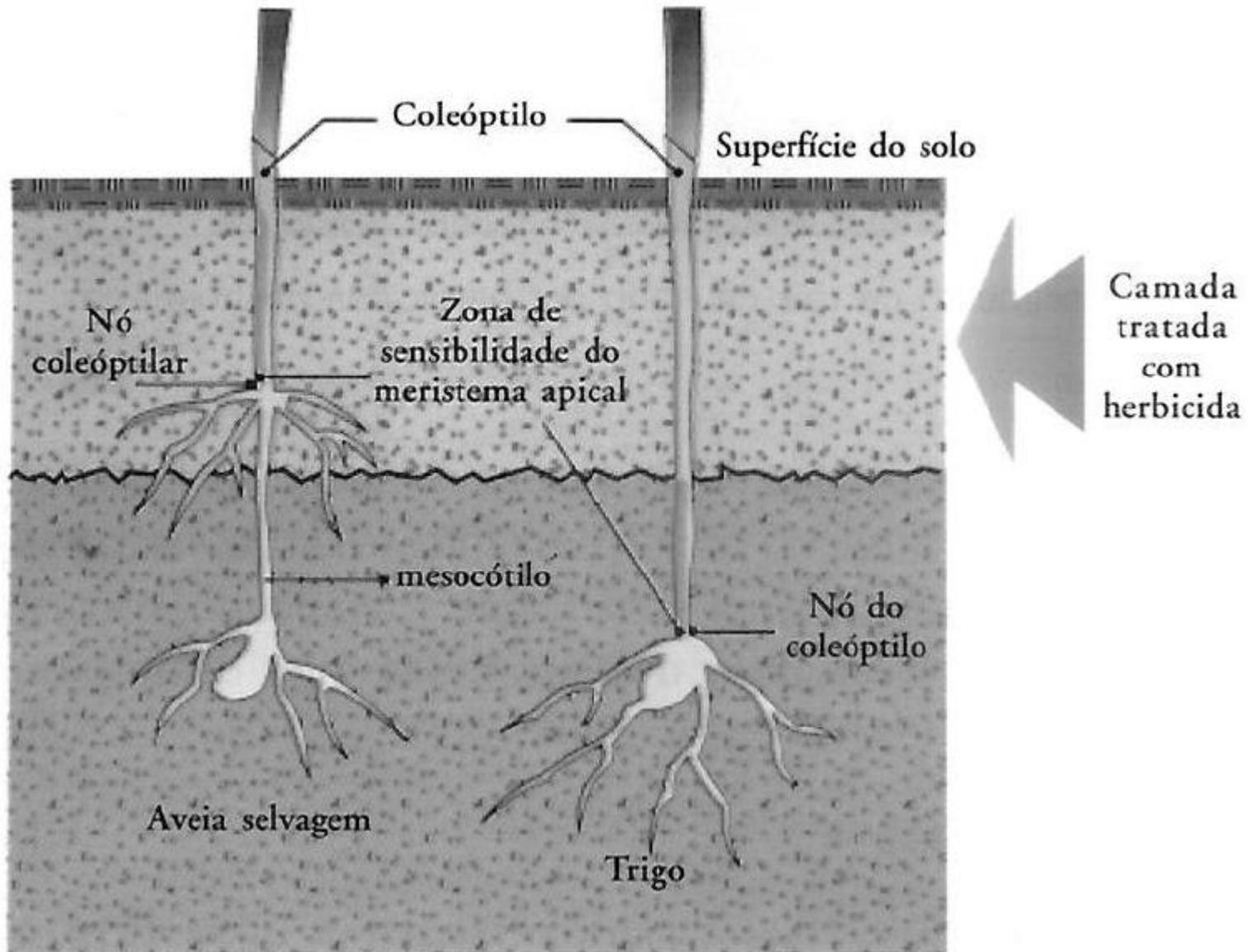


Barra com capota de proteção



Anteparos de proteção na barra

Seletividade toponômica



Quanto a época de aplicação

- **Pré-Plantio Incorporado (PPI)**
 - Herbicidas que são aplicados ao solo e posteriormente precisam de incorporação mecânica ou por meio de irrigação
 - Mecanismo de ação requer contato entre herbicida e plântulas antes ou durante a emergência
 - Baixa solubilidade em água
 - Fotodegradação
 - Volatilidade (Elevada pressão de vapor)
 - Ex: trifluralin (Premerlin)

- **Pré-emergência (PRÉ)**

- Aplicação realizada após a semeadura e antes da emergência da cultura e das plantas daninhas
- Algodão – pré das plantas daninhas e pós da cultura
- Eficácia depende de disponibilidade de água no solo
- Imazaquin (Scepter), Diclosulan (Spider), alachlor, diuron

• Pós-emergência (PÓS)

- As plantas daninhas encontram-se emergidas, mas a cultura nem sempre
- Ex. Dessecação antes da semeadura
- Absorção foliar do herbicida
- Requer que a cultura seja tolerante ao herbicida
- Aplicação em fases precoces

3 – 4 folhas – dicotiledôneas

Antes ou até o perfilhamento - gramíneas

- 3-4 folhas – dicotiledôneas



B. pilosa



I. grandifolia



Conyza spp.

- Antes ou até o perfilhamento - gramíneas



B. decumbens



Eleusine indica



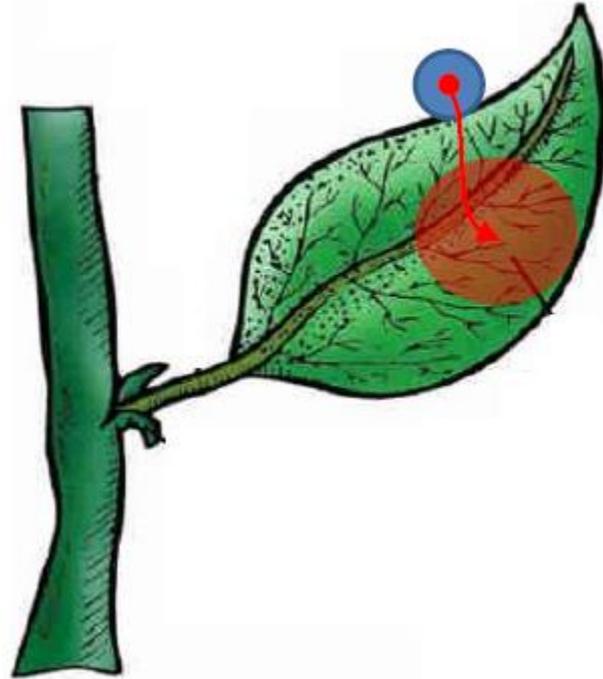
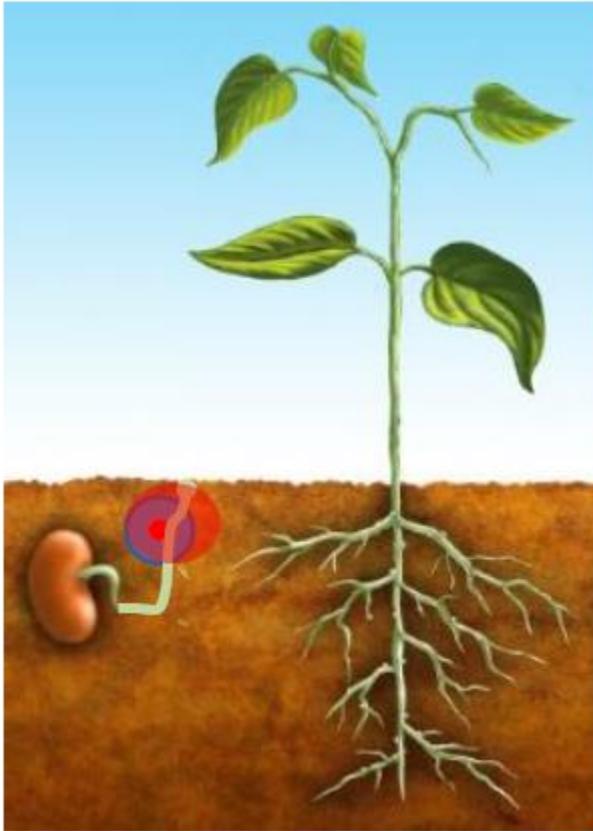
D. insularis

Quanto a translocação

- **Herbicidas com ação de contato**

- Não se transloca ou se transloca de forma muito limitada
- Só causa danos nas partes que entraram em contato direto com os tecidos da planta
- Necessitam de boa cobertura
- Efeito rápido, podendo se manifestar em questão de horas

Ação de contato

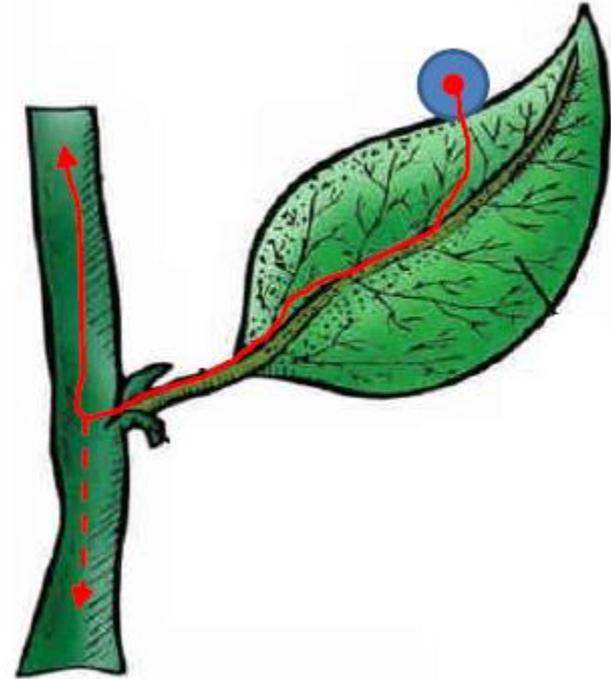
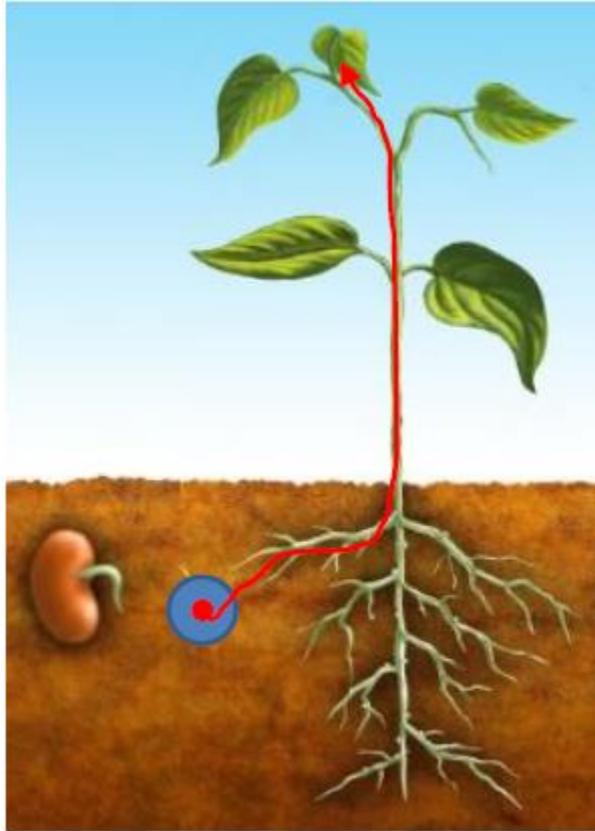


Ex. Paraquat (Gramoxone), Lactofen (Cobra), Fomesafen (Flex),
Bentazon (Basagran)

- **Herbicidas com ação sistêmica**

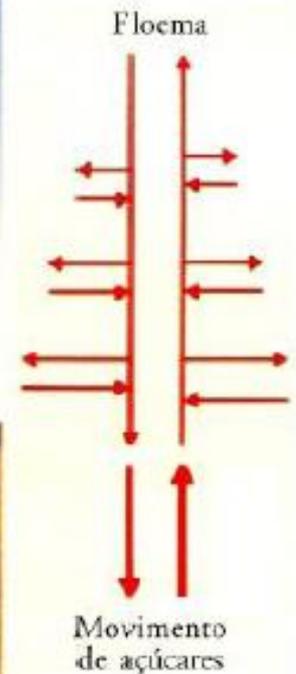
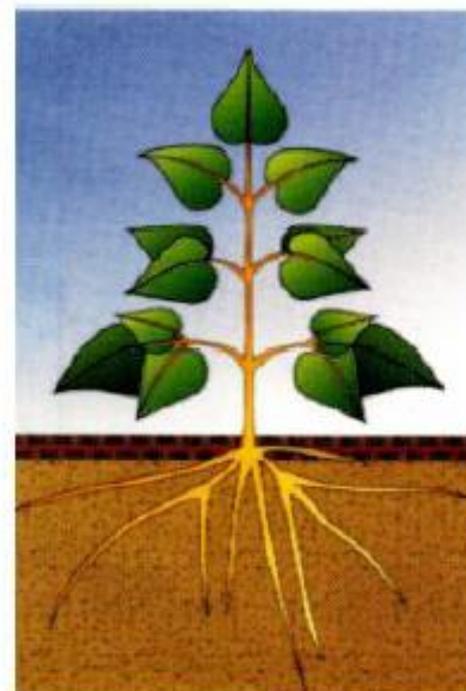
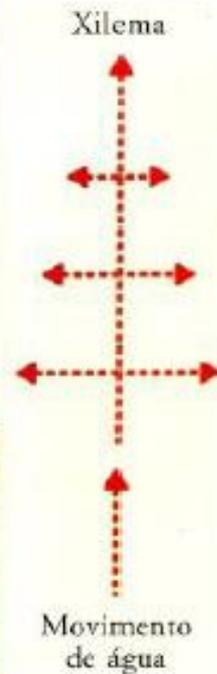
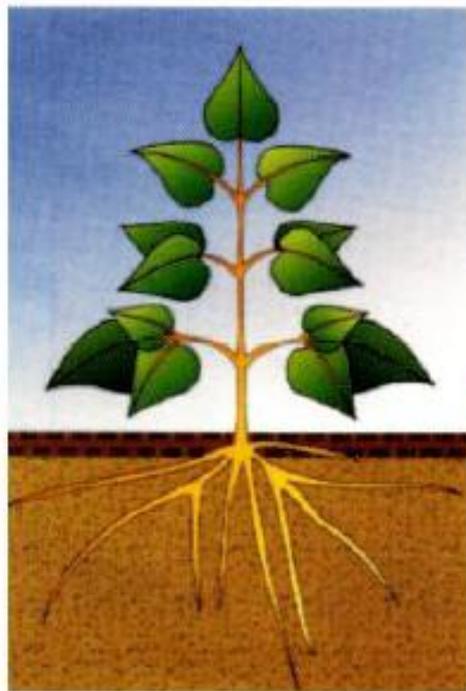
- Após absorvidos são capazes de translocar para o local de ação
- Translocação via xilema, floema ou ambos
- Efeito mais demorado
- Controle de plantas perenes e que se multiplicam assexuadamente

Ação de Sistêmica



Ex. 2,4-D, glyphosate, clethodin (Select), etc

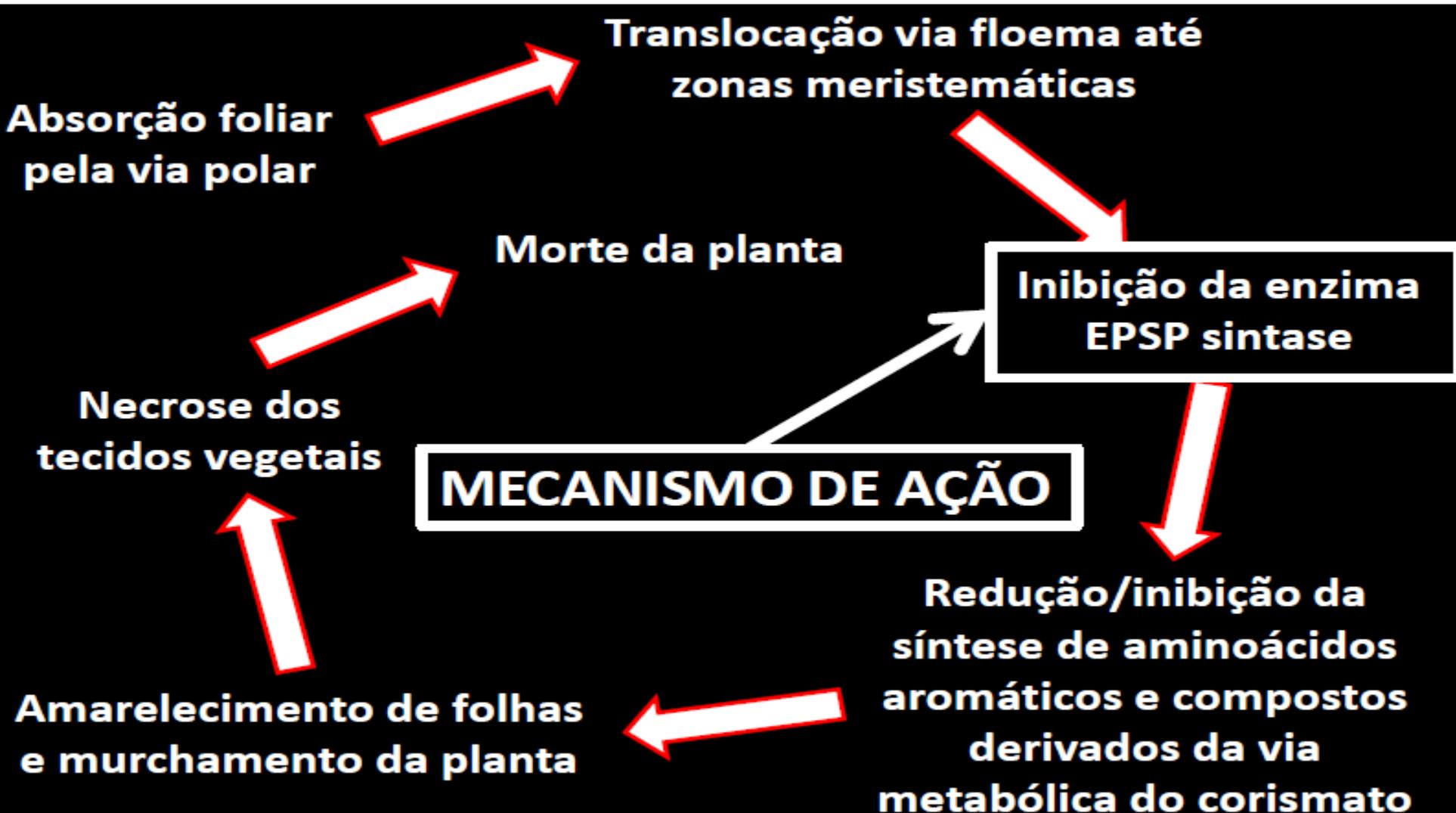
- Simplasto - células vivas (Floema) – Folhas PÓS
- Apoplasto – células mortas (Xilema) - Solo PRÉ
- Aposimplasto (Xilema e Floema) - Folhas PÓS



Quanto ao mecanismo de ação

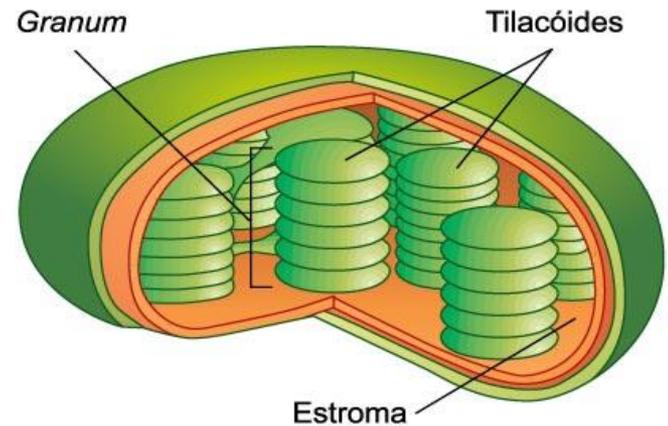
- **Modo de ação:** Conjunto de eventos metabólicos que resultam na expressão final do herbicida sobre as plantas, incluindo os sintomas visíveis (engloba o mecanismo de ação) – **ABSORÇÃO - MORTE**
- **Mecanismo de ação:** Primeiro evento metabólico (bioquímica) (sítio de ação) das plantas onde o herbicida atua

Modo de ação do glyphosate



- Inibidores de ALS
- Inibidores de EPSPs
- Inibidores da GS
- Inibidores de ACCase
- Inibidores do Fotossistema I
- Inibidores do Fotossistema II
- Inibidores de Prottox
- Inibidores da Biossíntese de Carotenóides

Inibem a síntese de aminoácidos



Fora do cloroplasto

- Mimetizadores de Auxinas (auxinas sintéticas)
- Inibidores da formação de ácidos graxos de cadeia longa
- Inibidores da Polimerização de Tubulina

Mimetizadores de Auxina

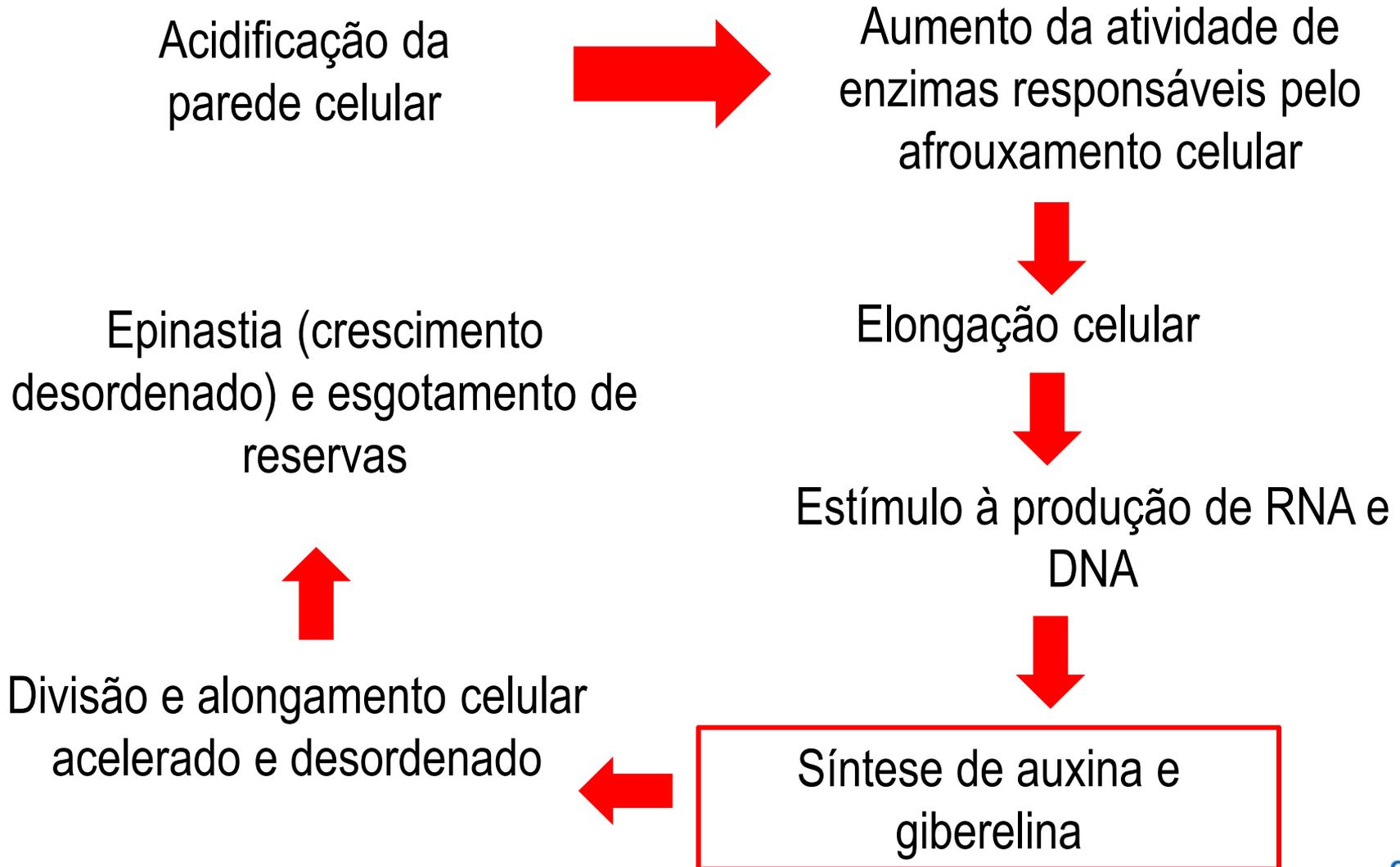
Características Gerais

- Atuam semelhante ao AIA (reguladores de crescimento) - Controlam a divisão e crescimento celular
- Herbicida mais antigo (2,4-D)
- Recomendado para o controle de **FOLHAS LARGAS** - anuais ou perenes
- Seletivo para gramíneas em geral
- Doses muito baixas podem ocasionar sintomas (Deriva)

-
- Usado nas culturas do arroz, milho, trigo, pastagens e cana-de-açúcar
 - Quando associado ao glyphosate é utilizado na dessecação pré-semeadura
 - Possuem atividade no solo dependendo da formulação (picloram, aminocyclopyrachlor – ainda não possui registro no Brasil)
 - Não deve ser associados com inibidores da ACCase, pois podem neutralizar os graminicidas

-
- **ABSORÇÃO:** Folhas, ramos e raízes
 - **TRANSLOCAÇÃO:** Ascendente (xilema) e descendente (floema), atingindo inclusive as raízes e demais estruturas de espécies perenes
 - Acumulam se nos meristemas, afetando o crescimento das plantas

Modo de ação



Sintomas



SOJA

Testemunha

2,4-D - 1,0%

2,4-D - 2,0%

Clorose

Epinastia generalizada

FEIJÃO



Clorose



**Epinastia nas folhas novas e
abortamento das vagens**

MANDIOCA - AIPIM



MAMONA

Vídeo 2,4-D

A decorative horizontal bar at the bottom of the slide, consisting of a thin red line on top and a thicker blue line below it.

Seletividade

Gramíneas

- Penetração muito baixa
- Translocação pelo floema é limitada, devido a presença de nós e meristemas intercalares.
- Metabolização e exudação via sistema radicular

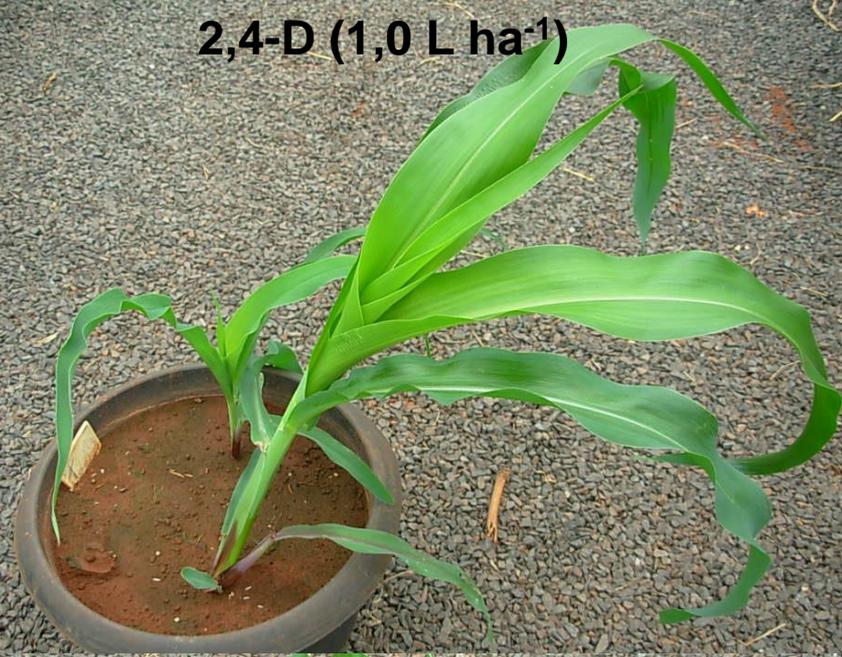
Arroz e trigo – após perfilhamento e antes do emborrachamento

Milho – Deve apresentar no máximo 4 folhas (V4)

TESTEMUNHA



2,4-D (1,0 L ha⁻¹)



2,4-D (4,5 L ha⁻¹)

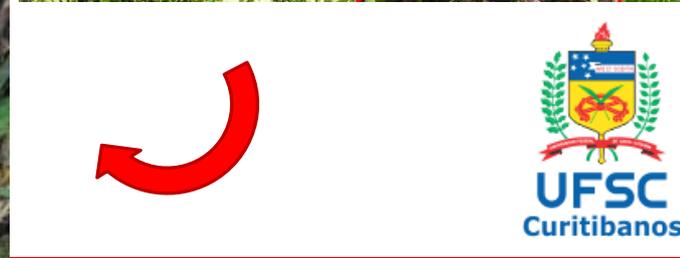


2,4-D (9,0 L ha⁻¹)



DMA 806

Controle de Plantas Daninhas Perenes



Herbicida	Cultura recomendada
2,4-D (DMA 806 BR Aminamar, etc)	Trigo, Aveia, Milho Cana-de-açúcar Arroz Pastagens Dessecação pré semeadura da soja
Dicamba	Áreas não agrícolas e trigo
Picloram (Padron)	Pastagem
Quinclorac (Facet)	Arroz irrigado (0,75 kg ha ⁻¹)
Picloran + 2,4-D (Tordon, Arena, Dontor, etc...)	Pastagem
Fluroxypir + Picloran (Plenum)	Pastagem

Inibidores do Fotossistema II (FS II)

Características Gerais

- São também conhecidos como inibidores da síntese de Hill
- Controle de **MUITAS FOLHAS LARGAS E ALGUMAS GRAMÍNEAS**
- Amplo espectro de ação, sendo usado em diversas culturas
- Aplicados em pré ou pós-emergência inicial

- **ABSORÇÃO:** Raízes (todas) e folhas (maioria das moléculas)

- ↑ • **TRANSLOCAÇÃO:** Basicamente VIA XILEMA, tendem a mover-se junto ao fluxo de água, acumulando-se nas bordas das folhas, onde os sintomas são visualizados primeiramente.

- Aplicações em pós necessitam de adjuvantes para melhor cobertura

Modo de ação

Inibição da fotossíntese



Ligação dos herbicidas



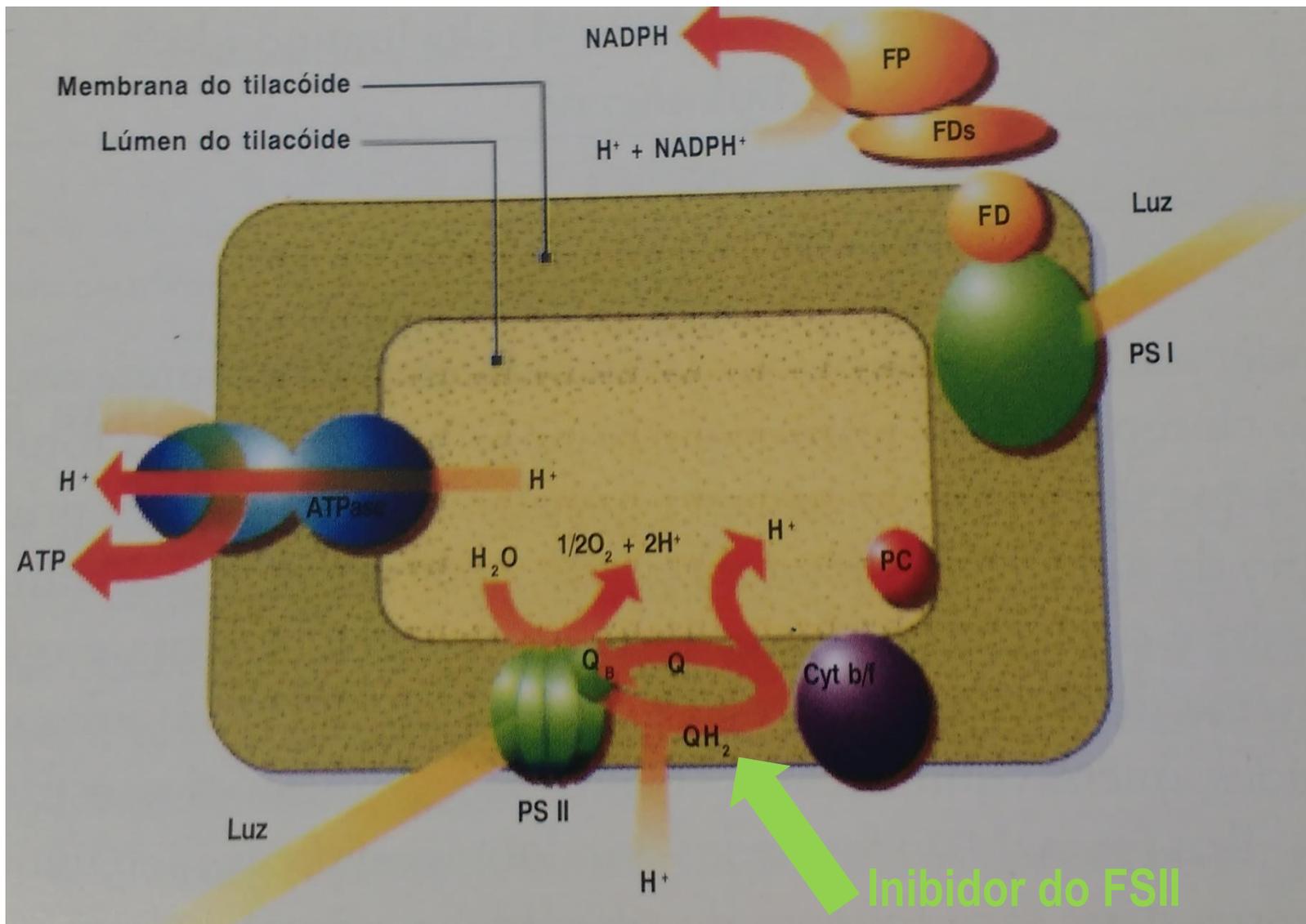
Sítio de ligação da Qb na proteína D1 do FSII
(localizado na membrana do tilacóide do cloroplasto)

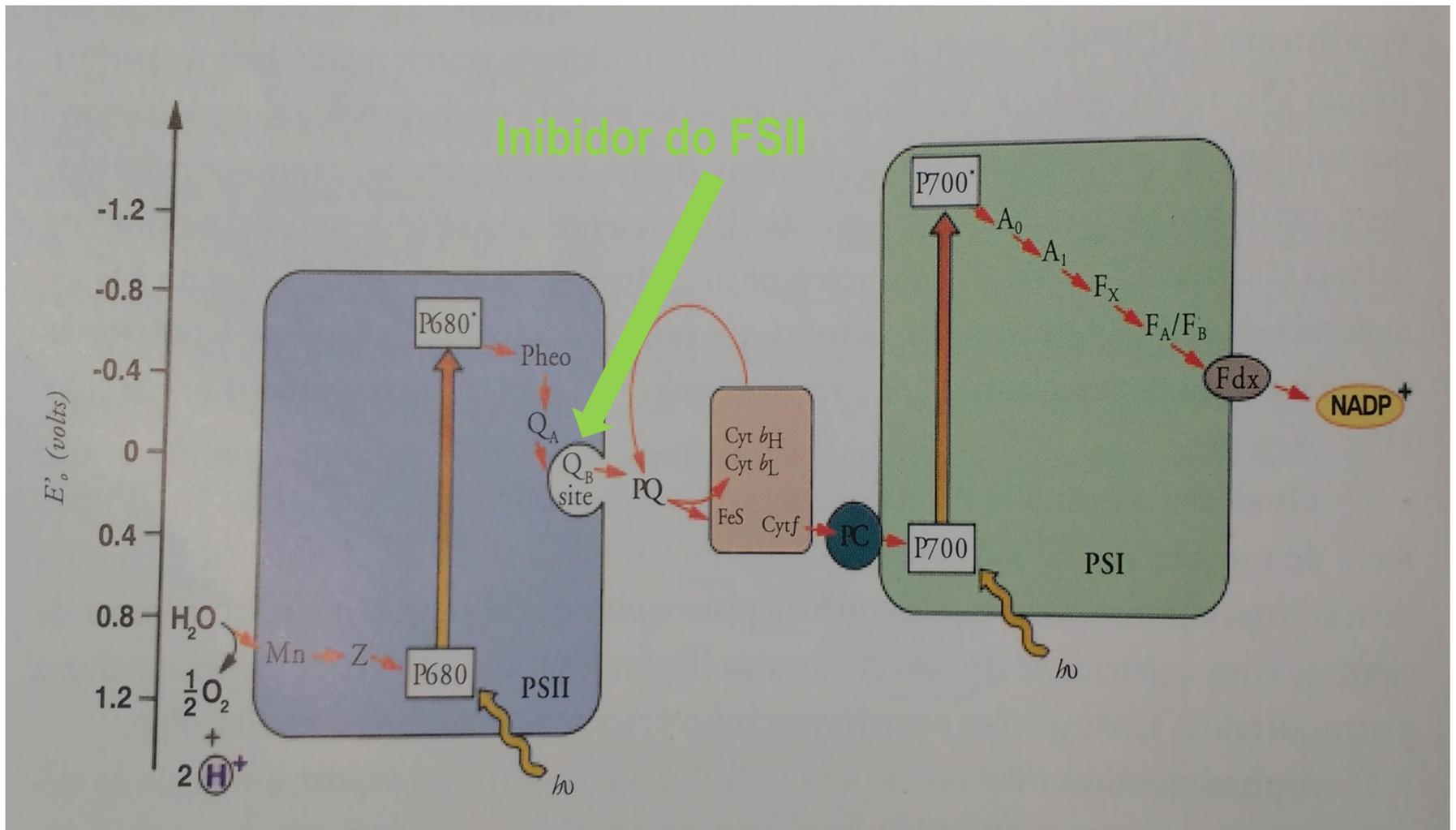


Bloqueio do transporte de elétrons
da Qa para Qb

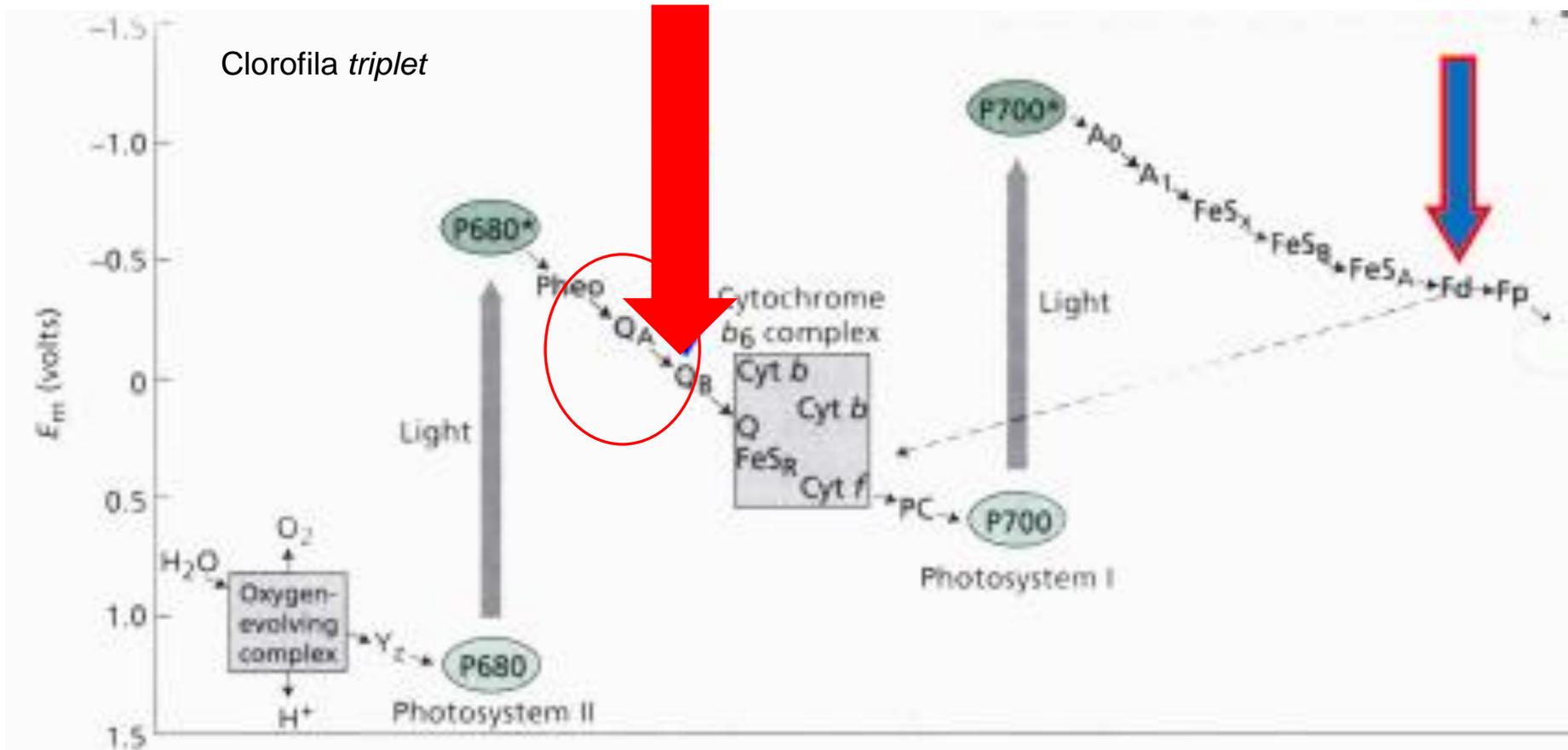


Fixação de CO₂; produção de ATP e NADPH₂

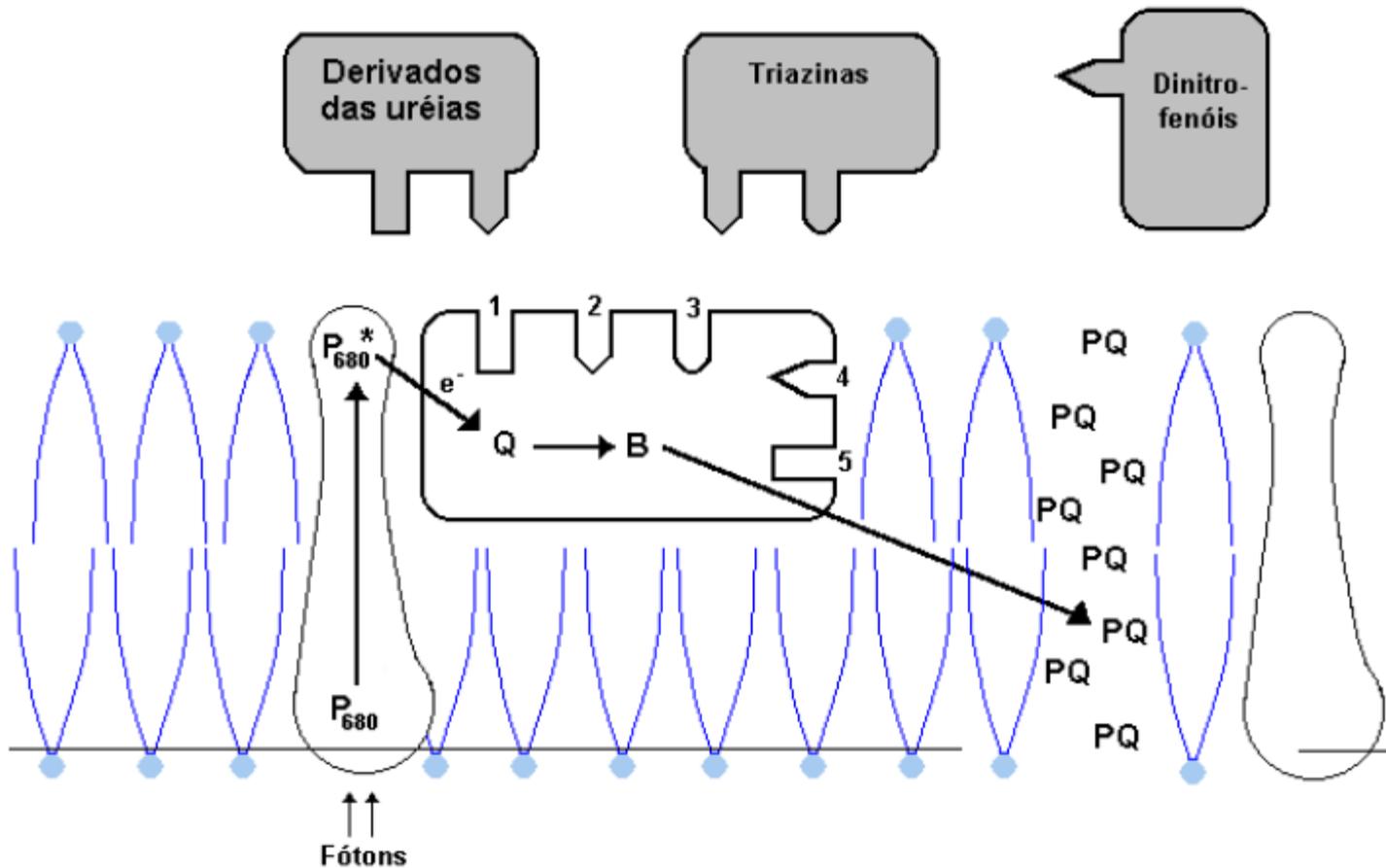




Fase fotoquímica



Interrupção do fluxo de elétrons da Qa para a Qb



Visualização dos sítios de ligação de alguns herbicidas inibidores do FS II ao complexo protéico QB nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos

Ligação dos herbicidas desse grupo ao sítio da Q_B (FS II)

Radicais livres lipídicos
Oxigênio singlet

Peroxidação de lipídeos

Lipídeos e proteínas são oxidados

Necrose e morte

Bloqueio do transporte de elétrons de Q_A para Q_B

Para fixação de CO_2 ,
produção de ATP e $NADPH_2$

Destruição das membranas
(clorose)

Desidratação da planta

Sintomas

- Clorose internerval e das bordas das folhas, que progridem para necrose generalizada
- Sintomas inicialmente observados nas bordas das folhas e em folhas mais velhas
- Sintomas desenvolvem-se rapidamente e necessitam de luz para se desenvolver

Amicarbazone (Dinamic)



Oliveira Neto, 2007

Atrazina



Atividade no solo

- Bentazon (Basagran): não possui atividade no solo (não sistêmico – Contato)

- Atrazina e metribuzin (Sencor): podem ser absorvidos pelas raízes e proporcionar controle residual em algumas planta

Seletividade

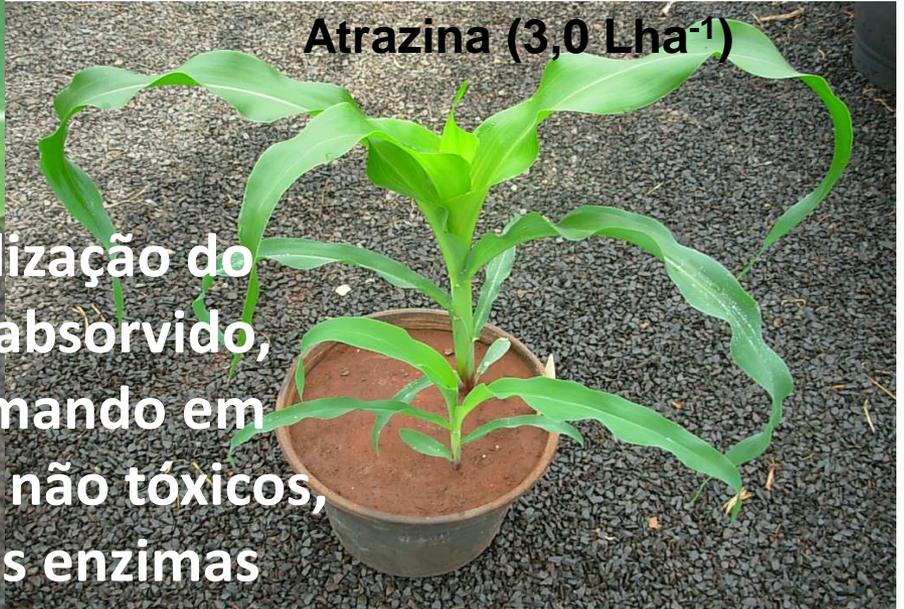
- Dentro deste mecanismo de ação existem moléculas seletivas e não seletivas
- Diuron (Volcano, Karmex): não seletivos
- Atrazina: seletivo para o milho
- Metribuzin (Sencor): seletivo para a soja
- **Diuron em algodão:** seletividade toponômica, por ser pouco móvel no perfil do solo não atinge o sistema radicular da cultura, desta forma não é absorvido.

Fatores que afetam a seletividade

- Localização no solo (seletividade por posição)
- Aplicação dirigida
- Absorção diferencial por raízes e folhas
- Translocação diferencial das raízes para as folhas
- Sorção em sítios inativos na planta
- Dentro de uma mesma variedade, sementes maiores tem maior tolerância



TESTEMUNHA



Atrazina (3,0 Lha⁻¹)

Metabolização do atrazine absorvido, transformando em compostos não tóxicos, devido as enzimas benzoxazinonas



Atrazina (6,0 L ha⁻¹)



Atrazina (12,0 L ha⁻¹)

ATRAZINA 500SC



Herbicida	Cultura recomendada
Propanil	Arroz
Bentazon (Basagran)	Feijão, soja
Atrazina (Primóleo, Posmil, etc)	Milho, sorgo, cana-de-açúcar
Ametrina (Gesaprim)	Cana-de-açúcar , milho, café, mandioca
Prometrine (Gesagard)	Algodão, alho, cebola, cenoura
Hexazinona (Broker, Style)	Cana-de-açúcar
Metribuzin (Sencor)	Cana-de-açúcar, café, mandioca, trigo, soja
Amicarbazone (Dinamic)	Cana-de-açúcar
Diuron (Cention, Karmex)	Algodão, mandioca, batata
Tebuthiuron (Combine, Lava)	Cana-de-açúcar

Principais misturas formuladas

Herbicida	Cultura recomendada
Ametrina + clomazone (Sinerge)	Cana-de-açúcar, algodão e Mandioca
Ametrina +trifloxysulfuron (Krismat)	Cana-de-açúcar
Diuron + hexazinona (Velpar, Advance)	Cana-de-açúcar