

INTERAÇÕES ALELOPÁTICAS ENTRE PLANTAS

Pedro Luís da C. A. Alves

Depto. de Biologia Aplicada - FCAV - UNESP
Laboratório de Plantas Daninhas - LAPDA



LAPDA
laboratório de
plantas daninhas





ABR 90
FUI 23'

LA CATEDRAL
Tienda
Natur

Interferência

```
graph TD; A[Interferência] --> B[Direta]; A --> C[Indireta]; B --> D[Competição]; B --> E[Alelopatia]; B --> F[Parasitismo]; C --> G[Hospedeiras]; C --> H[Práticas Culturais]; C --> I[Qualidade];
```

Direta

Competição

Alelopatia

Parasitismo

Indireta

Hospedeiras

Práticas Culturais

Qualidade

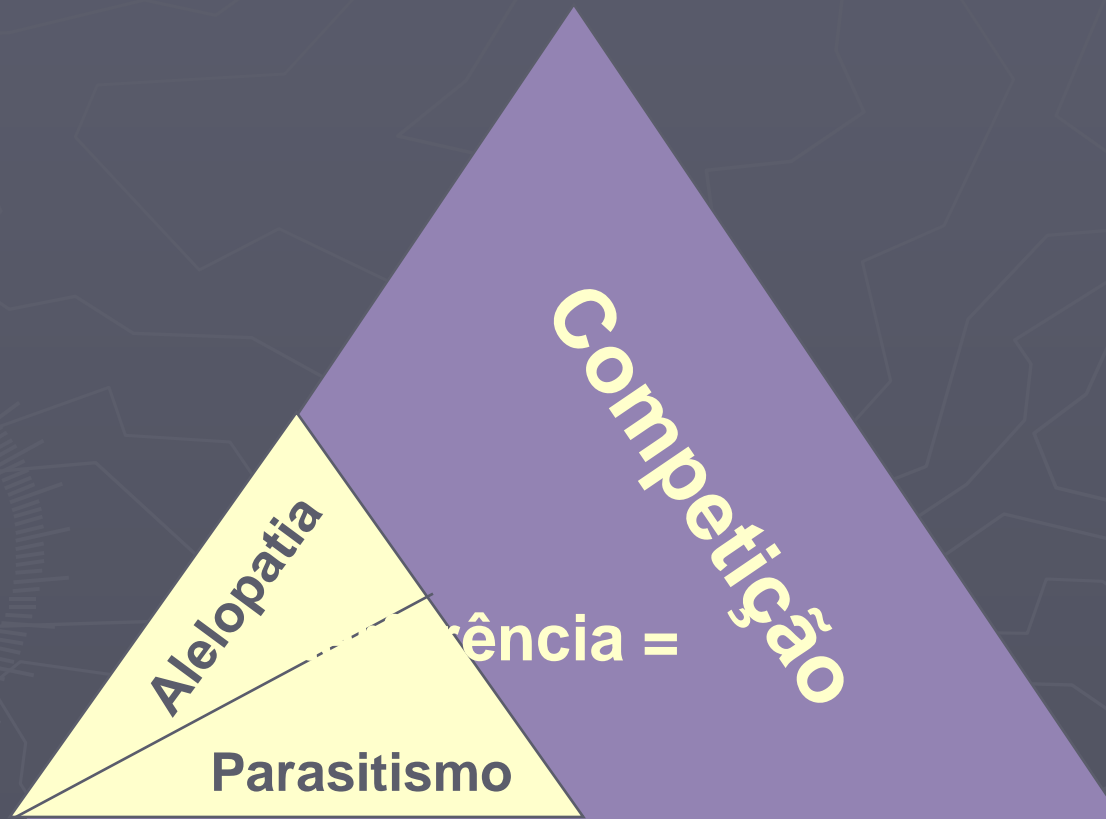
INTERFERÊNCIA DIRETA

planta x planta



INTERFERÊNCIA DIRETA

planta x planta



INTERFERÊNCIA DIRETA

COMPETIÇÃO

- Se estabelece quando as plantas passam a recrutar do ambiente os mesmos recursos necessários ao crescimento e desenvolvimento, como a água, nutrientes, luz, etc.
- É mais acentuada quanto mais próximas ecologicamente forem as espécies

INTERFERÊNCIA DIRETA

planta x planta



ALELOPATIA

Termo cunhado em 1937 por Hans Molisch
(*allelo* = mútuo, *pathos* = prejuízo)

" Interações bioquímicas
estimulatórias ou inibitórias
entre plantas, incluindo
microorganismos"

RICE (1974)

"Qualquer efeito prejudicial, direto ou indireto, de uma planta sobre outra pela produção de compostos químicos que são liberados no meio"

Sociedade Internacional de Alelopatia (1996)

"Qualquer processo envolvendo metabólitos secundários produzidos pelas plantas e microorganismos que influencia o crescimento e o desenvolvimento de sistemas agrícolas e biológicos (incluindo animais)"

WHITTAKER (1978)

COMPOSTOS QUÍMICOS = ALELOQUÍMICOS

ALELOQUÍMICOS AFETAM:

- ESTADO SANITÁRIO
- CRESCIMENTO/DESENVOLVIMENTO
- COMPORTAMENTO OU BIOLOGIA DE POPULAÇÕES



Relação das principais espécies

Posição	Planta daninha	Σ I.R.
1º	Tiririca	1299
2º	<u>Corda-de-viola (IPOHF)</u>	249
3º	<u>Corda-de-viola (IPONI)</u>	177
4º	Erva-de-andorinha	158
5º	Caruru	137
6º	Malva vermelha	132
7º	<u>Corda-de-viola (IPOQU)</u>	125
8º	Maria pretinha	100
9º	Assa peixe	95
10º	Buva	83
11º	Guaco	78
12º	Capim-marmelada	41
13º	Leiteiro	40
14º	Capim-colchão	23
15º	<u>Corda-de-viola (MRRCI)</u>	21

Relação das principais espécies

Subgrupo	Categorias	Nº de registros	Nível de infestação média
A1	BRADC	11	81,8%
A2	CYPSS	26	67,7%
A3	CORDAS	33	49,0%
A4	BRAPL	7	22,9%
A5	AMASS	9	30,0%
A6	ARHHY	7	41,1%
A7	EPHHL	6	36,7%
A8	POROL	5	48,6%
A9	PANMA	1	90,0%
A10	SIDSS	9	37,2%
A11	DIGSS	8	81,4%
A12	PANMA+CYPSS/DIGSS/CORDAS	8	17%+(9,4%/11,4%/4%)
A13	CYPSS+DIGSS	12	29,2%+37,1%
A14	DIGSS	11	33,6%

FONTES DE ALELOQUÍMICOS

TODAS AS PARTES DA PLANTA

QUANTIDADE E COMPOSIÇÃO
VARIAM COM A ESPÉCIE

Geralmente: folhas > concentração

FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO DE ALELOQUÍMICOS

TODOS OS QUE AFETAM AS ROTAS METABÓLICAS DO ÁCIDOS CHIQUÍMICO, MALÔNICO E MEVALÔNICO

CO₂

Photosynthesis

PRIMARY CARBON METABOLISM

Erythrose-4-phosphate

Phosphoenolpyruvate

Pyruvate

3-Phosphoglycerate (3-PGA)

Tricarboxylic acid cycle

Acetyl CoA

Aliphatic amino acids

Shikimic acid pathway

Malonic acid pathway

Mevalonic acid pathway

MEP pathway

Aromatic amino acids

Nitrogen-containing secondary products

Phenolic compounds

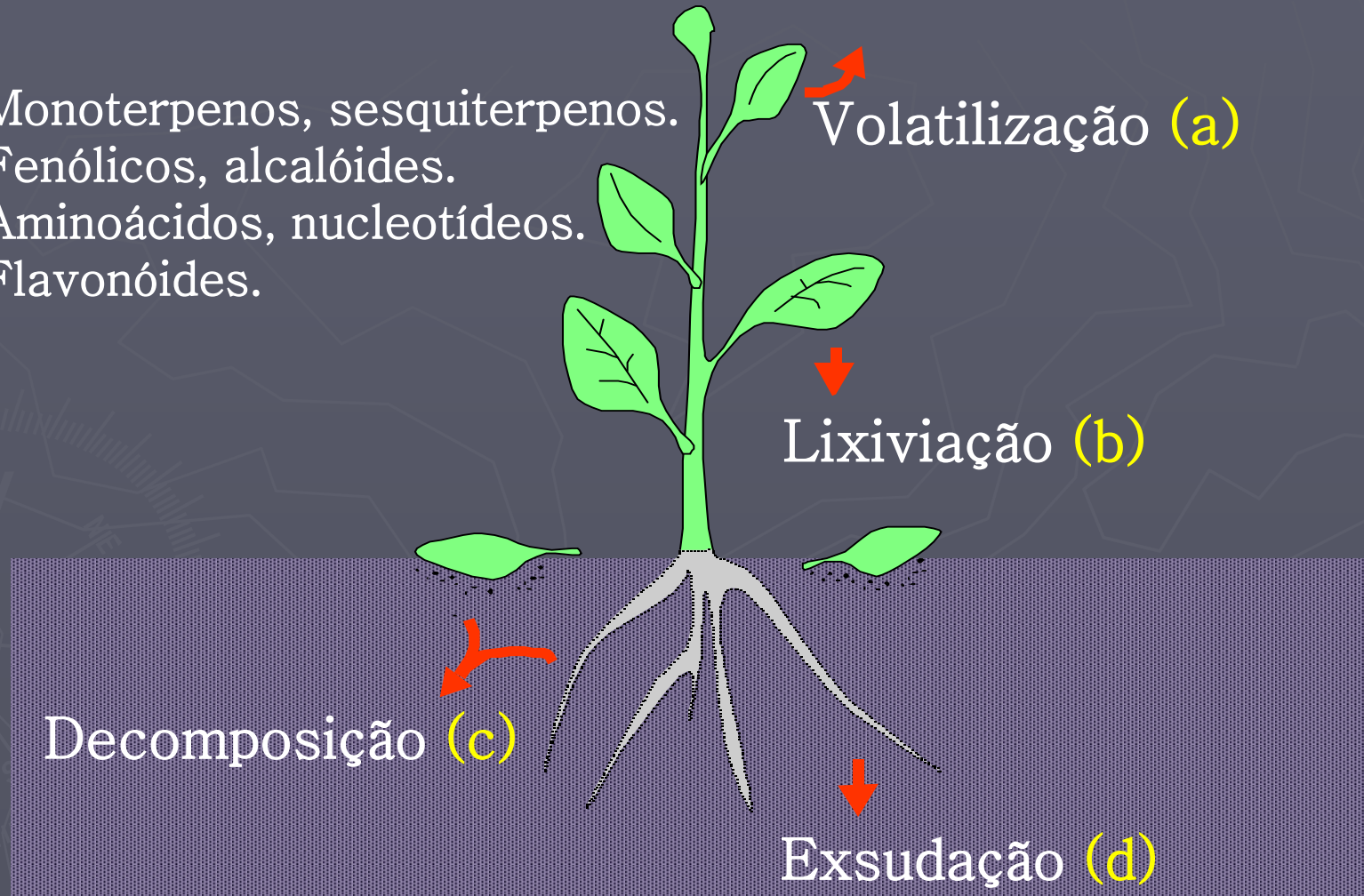
Terpenes

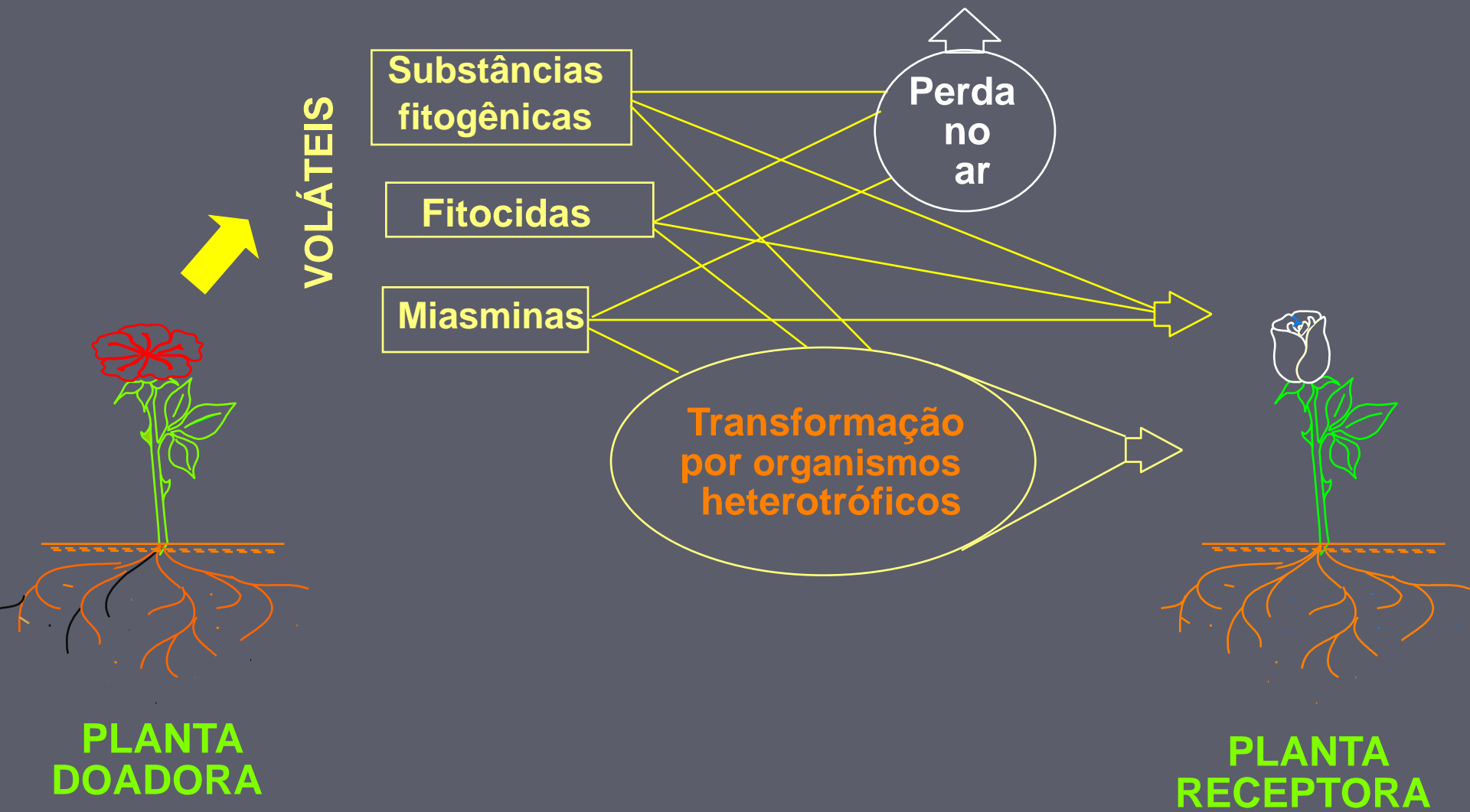
SECONDARY CARBON METABOLISM

ALELOQUÍMICOS

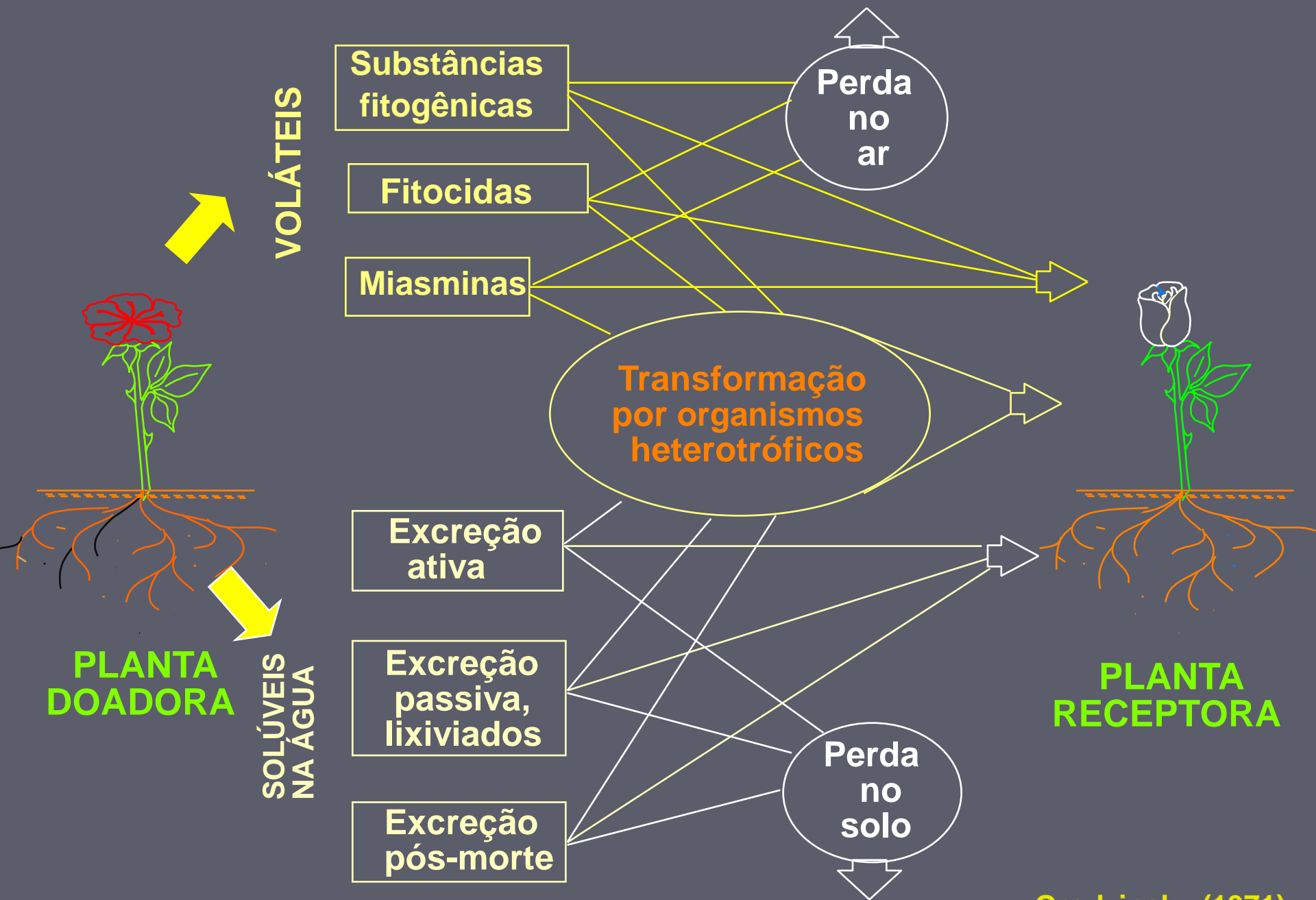
VIAS DE LIBERAÇÃO

- a) Monoterpenos, sesquiterpenos.
- b) Fenólicos, alcalóides.
- c) Aminoácidos, nucleotídeos.
- d) Flavonóides.





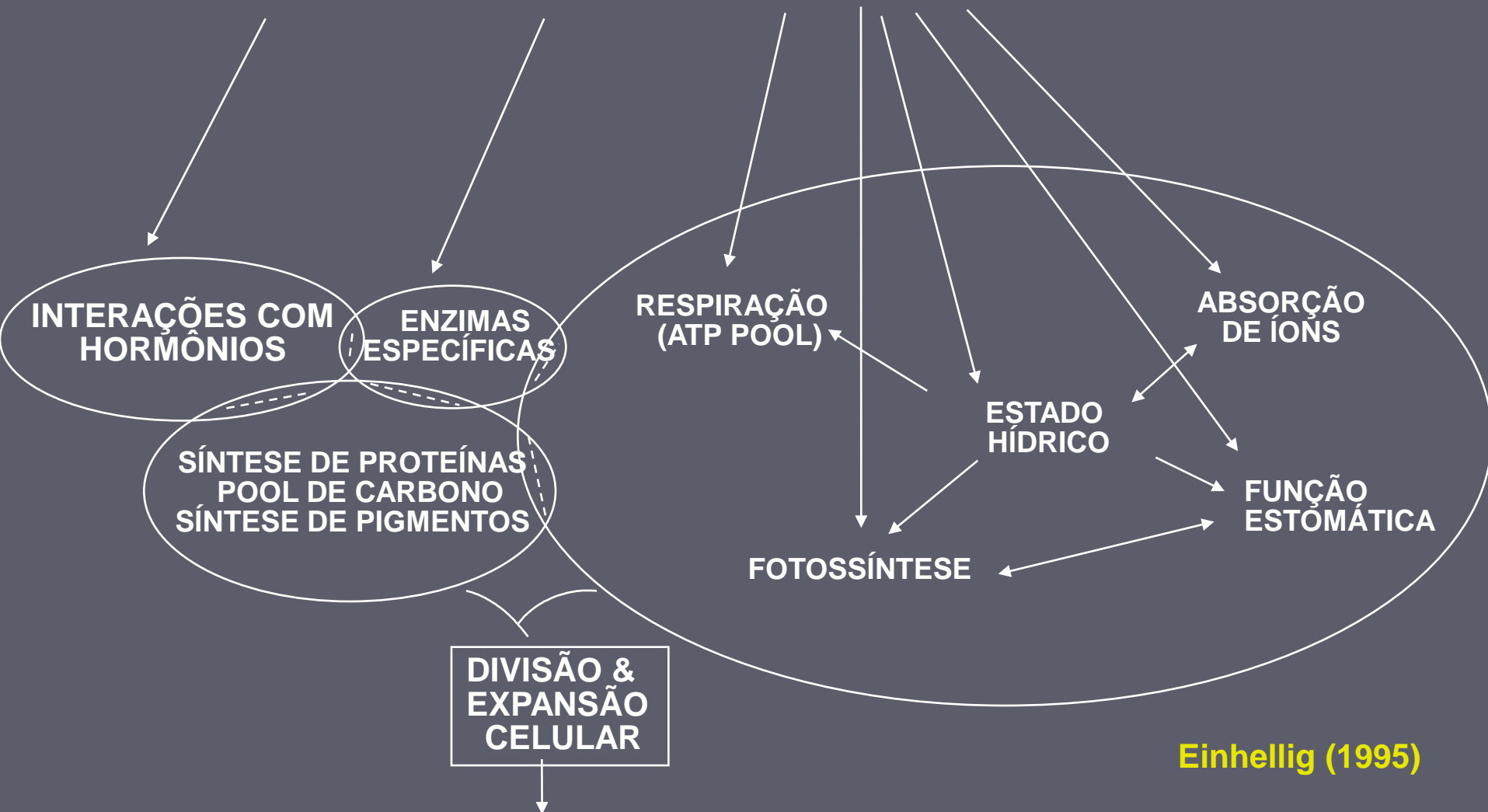




MODO DE AÇÃO DOS ALELOQUÍMICOS

PERTURBAÇÕES NA MEMBRANA

(LIGAÇÃO - TRANSPORTE - ENERGÉTICA - ESTRUTURA)



Einhellig (1995)

INIBIÇÃO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PLANTA

MECANISMOS DE AÇÃO

Novos modos de atuação estão sempre sendo relatados ou investigados

Até o momento, os aleloquímicos aparentemente atuam em alvos moleculares distintos dos herbicidas comerciais

MECANISMOS DE AÇÃO

As quinonas juglona e sorgoleone inibem a evolução de O_2 no cloroplasto e afetam funções mitocondriais:
categoria C (HRAC)

MECANISMOS DE AÇÃO

Algumas lactonas sesquiterpênicas como artemisina, dihidrozaluzanim C e isozaluzanim C estão sendo estudadas:

Artemisina: afeta a evolução de O_2 mitocondrial, inibe a mitose e gera fases mitotóticas aberrantes

Inibe crescimento radicular e causa clorose

Dihidrozaluzanim C: 0,1 – 1 mM afeta a integridade das membranas e a biossíntese de aminoácidos: *novo mecanismo de ação*

Aplicações Práticas da Alelopatia

- ✓ Uso de plantas alelopáticas
- ✓ Identificação de compostos
- ✓ Síntese de compostos

Aplicações Práticas da Alelopatia

- ✓ Uso de plantas alelopáticas
- ✓ Identificação de compostos
- ✓ Síntese de compostos

COBERTURA VIVA

CULTURAS SUFOCANTES



Resultado das interações competitivas e alelopáticas entre plantas (inter e intraespecíficas)



Milheto (*Pennisetum glaucum*)

Culturas sufocantes - milho

Acessos	% Supressão	
	Total	<i>C. album</i>
HHB-68	72,3	73,0
8804Ax833-2	71,1	72,6
HHB-60	57,5	57,3
81AxHC-4	38,5	41,1
HHB-67	32,6	74,8
HHB-50	18,0	52,4

Culturas sufocantes

Com o melhoramento genético, pode-se obter cultivares que auxiliem no manejo das plantas daninhas

Alteração na arquitetura e vigor

Culturas alelopáticas

A manifestação dos efeitos vai depender do genótipo, do estágio de desenvolvimento e das condições ambientais

Culturas alelopáticas



Sorgo: ácidos *p*-hydroxybenzóico, clorogênico e *p*-hidroxibenzilaldeído (produtos da quebra enzimática do glicosídeo cianogênico - durrin), *p*-benzoquinona - sorgoleone

Efeito do sorgoleone a 0,6 kg i.a./ha na matéria fresca de PD (g)

Espécies	Test.	Trat.	% Inib.
<i>Solanum</i> spp.	2,2	0,2	90
<i>A. retroflexus</i>	5,8	1,1	82
<i>Chenopodium album</i>	11,9	8,8	26
<i>Portulaca oleracea</i>	2,3	1,1	53
<i>Sena obtusifolia</i>	1,4	0,5	60

Czarnota et al. (2001)

Uso prático das culturas

Explorar a potencialidade da cultura:

- Rotação de culturas
- Culturas intercaladas
- Cobertura morta
 - ✓ Plantio direto
 - ✓ Cultivo mínimo

Cobertura morta

EFEITO SUPRESSOR

Somatório de efeitos:

- ✓ Físicos
- ✓ Químicos
- ✓ Biológicos



Cobertura morta

EFEITOS QUÍMICOS

- Alelopatia
 - ✓ Lixiviação
 - ✓ Decomposição

ALELOPATIA - CANA

Auto alelopatia em cana-soca em Taiwan
redução da brotação e da produção pela
decomposição das folhas

Ácidos fenólicos (5), fórmico, acético, oxálico,
malônico, tartático e málico

Presença de *Fusarium oxysporum* na rizosfera



menor crescimento

ALELOPATIA - CANA

Os ácidos hidroxâmicos = metabólitos secundários em gramíneas:

- cultivadas e selvagens
- em sementes, plântulas e plantas adultas de cereais como trigo, milho ou centeio
- espécie, idade da planta, temperatura, fotoperíodo e órgão analisado

ALELOPATIA - CANA

A atividade alelopática dos ácidos hidroxâmicos é a capacidade de se ligarem aos receptores da auxina nas plantas

- impedido o crescimento das mesmas;
- inibindo a fotossíntese nos cloroplastos

ALELOPATIA - CANA

- Singh et al. (2003) isolaram de cana 'Col K 8102':
 - 2,4-dihidroxi-1,4-benzoxazin-3-one (DIBOA)
 - Benzoxazolin-2-one (BOA)
 - Efeito inibitório a 0,45 e 1,25 mM

ALELOPATIA - CANA

- A susceptibilidade toxicológica das plantas dicotiledôneas ao BOA e DIBOA é superior à das monocotiledôneas em cerca de 30% (Barnes e Putnam, 1987).
- Ao testar o efeito de BOA e de herbicidas (linuron e fluometuron), os autores concluíram que também BOA é muito ativo quando comparado aos herbicidas.

ALELOPATIA - CANA

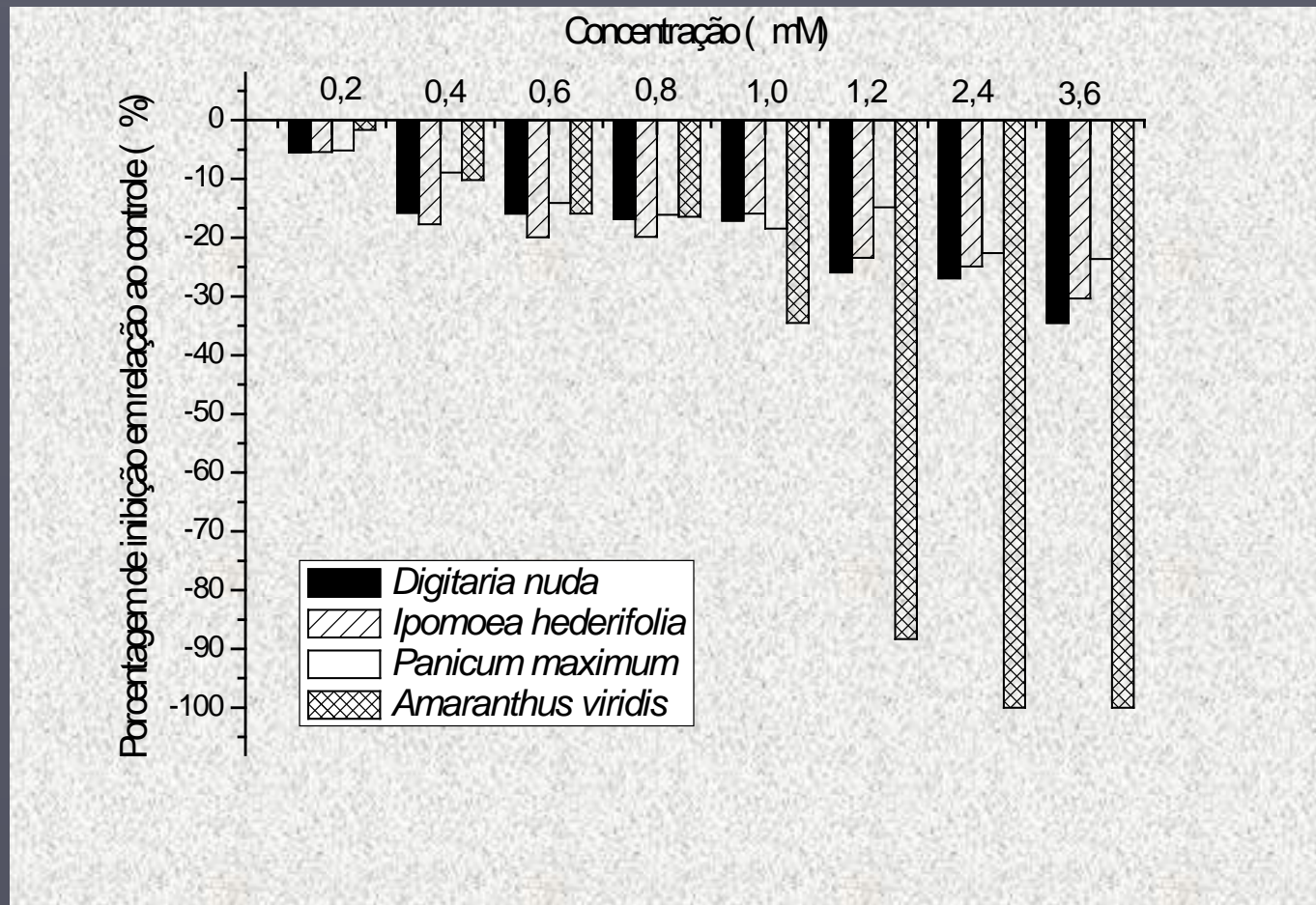
SINGH et al. (2009) - DIBOA e BOA:

- [] > 0,3 mM reduziram a brotação de cana-de-açúcar (>0,6 mM = inibição)
- reduziram o número de folhas por planta, altura da planta e massa seca da cana-de-açúcar
- [] < 0,3 mM não tiveram efeitos sobre a germinação de trigo e mostarda (> 0,5 mM = inibição; 90% de inibição em feijão-mungo).

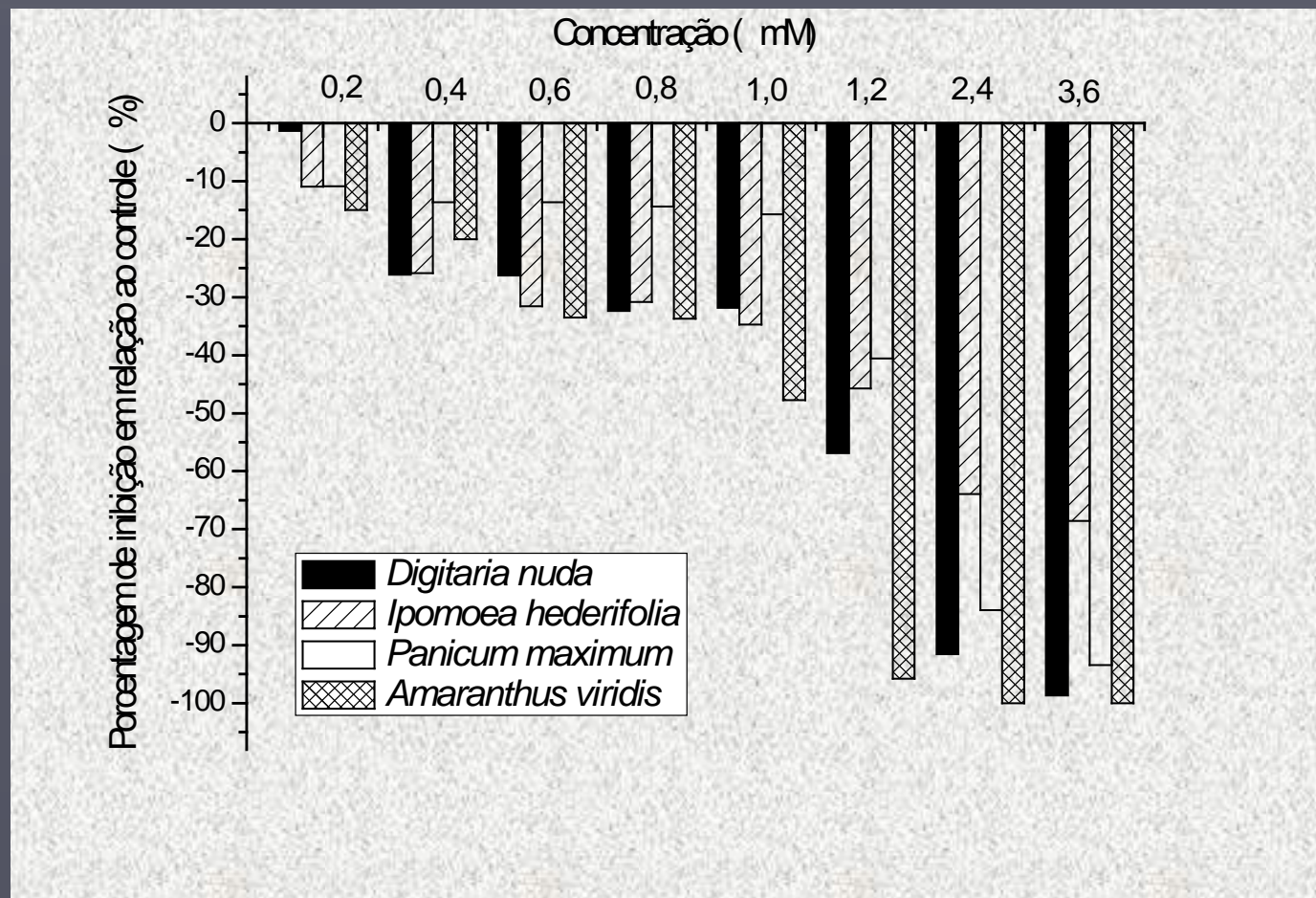
Inibição da germinação de plantas daninhas pelo BOA (Yamauti et al., 2012)

Concentração (mM)	Germinação (%)			
	<i>Amaranthus viridis</i>	<i>Ipomoea hederifolia</i>	<i>Panicum maximum</i>	<i>Digitaria nuda</i>
Controle	54,75 a	21,71 a	78,85 a	23,75 a
0,2	37,75 ab	19,62 a	77,50 ab	22,57 ab
0,4	37,00 ab	19,50 a	78,28 abc	21,25 ab
0,6	22,71 bc	19,42 a	70,00 abc	20,75 ab
0,8	21,00 bc	17,00 a	65,25 c	20,00 abc
1,0	11,75 cd	17,00 a	67,25 bc	20,50 abc
1,2	0,25 d	16,50 a	66,28 bc	15,14 bc
2,4	0,00 d	12,50 a	46,28 c	12,50 c
3,6	0,00 d	12,50 a	45,71 c	4,25 d
CV (%)	59,00	40,00	11,42	27,28
DMS	19,58	11,23	11,97	7,82

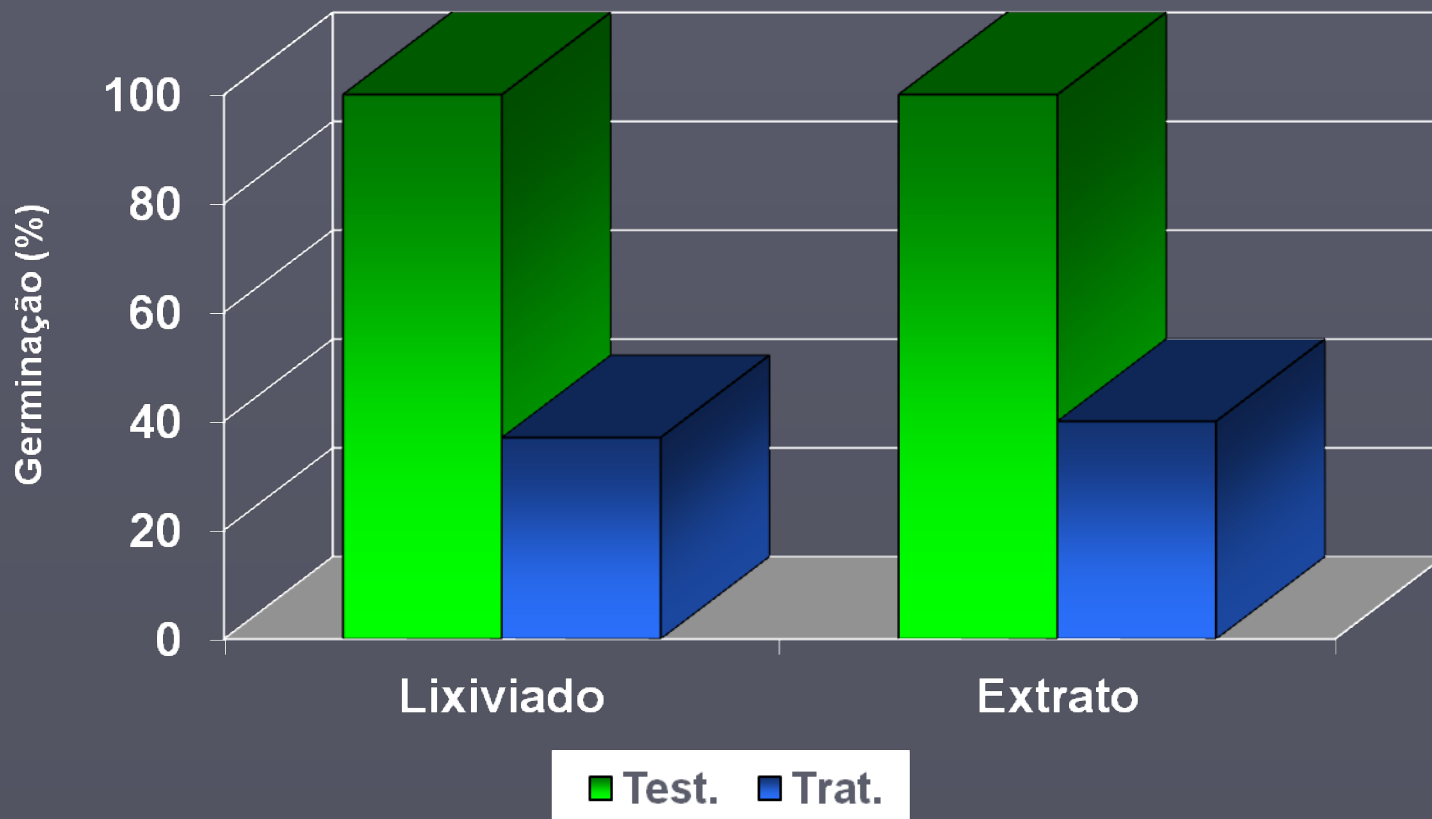
Inibição do crescimento da PA de plantas daninhas pelo BOA (Yamauti et al., 2012)



Inibição do crescimento do SR de plantas daninhas pelo BOA (Yamauti et al., 2012)



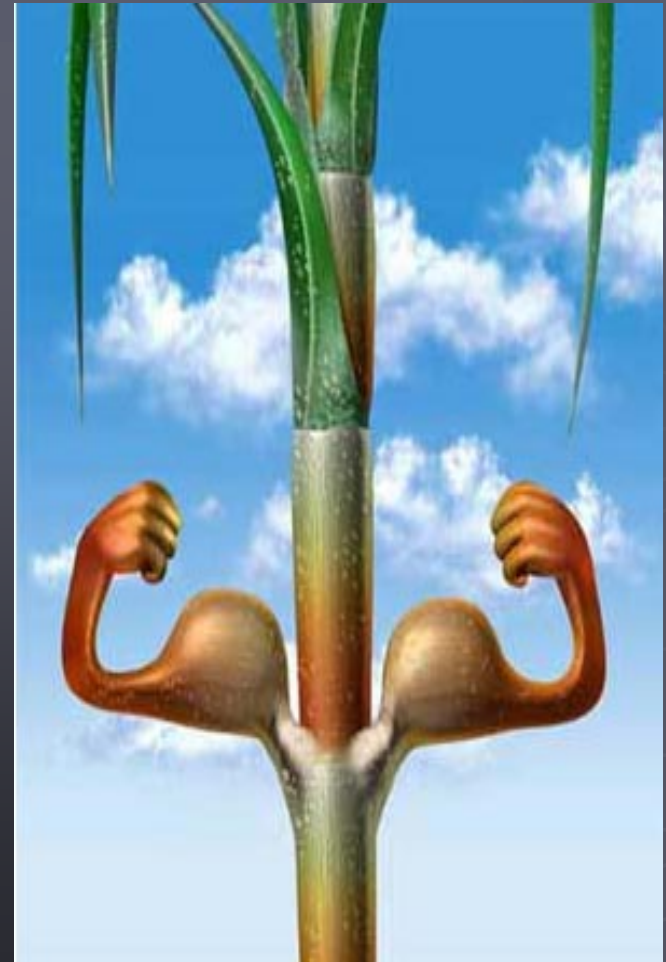
Inibição da germinação de *Bidens pilosa* pela cana (Lorenzi, 1984)



Culturas alelopáticas

Com a manipulação genética, pode-se obter cultivares que se defendam naturalmente da interferência imposta pelas plantas daninhas ou que atuem como fonte de aleloquímicos

Transgênicos



TRANSGÊNICOS

Podem ser empregados de duas formas:

- Para a produção de herbicidas
- Para aumentar o potencial alelopático da cultura

Culturas alelopáticas transgênicas

- Há formas naturais de alelopatia no banco de germoplasma de pepino, centeio, arroz e sorgo
- IRRI está estudando os genes envolvidos na alelopatia do arroz (IAC 165 x *E. cruz-galli*)

Culturas alelopáticas transgênicas

- ✓ Através do conhecimento das vias biossintéticas, é possível identificar qual passo enzimático é limitante.
- ✓ Se for possível a remoção desta limitação (expressão gênica), espera-se maior produção do composto ou, inclusive, sua maior liberação

Culturas alelopáticas transgênicas

Uma outra estratégia para aumentar a produção de aleloquímicos é aumentar o número de órgãos da planta ou do tipo de célula onde o composto é produzido

Ex. aumentar o número de raízes ou de pelos radiculares

Culturas alelopáticas

Um dos objetivos recentes das pesquisas em alelopatia é a obtenção de cultivares alelopaticamente ativas

Por outro lado, seria muito mais interessante e barato usar o aleloquímico diretamente, como um herbicida

Culturas alelopáticas

É possível ainda que microorganismos sejam geneticamente manipulados para a produção de fitotoxinas

Ex. Bialafós (*Streptomyces* spp.)

Culturas alelopáticas

A principal limitação no emprego desta técnica é que um número muito limitado de vias bioquímicas para a síntese de fitotoxinas foi clonado

Ex. DIMBOA e DIBOA

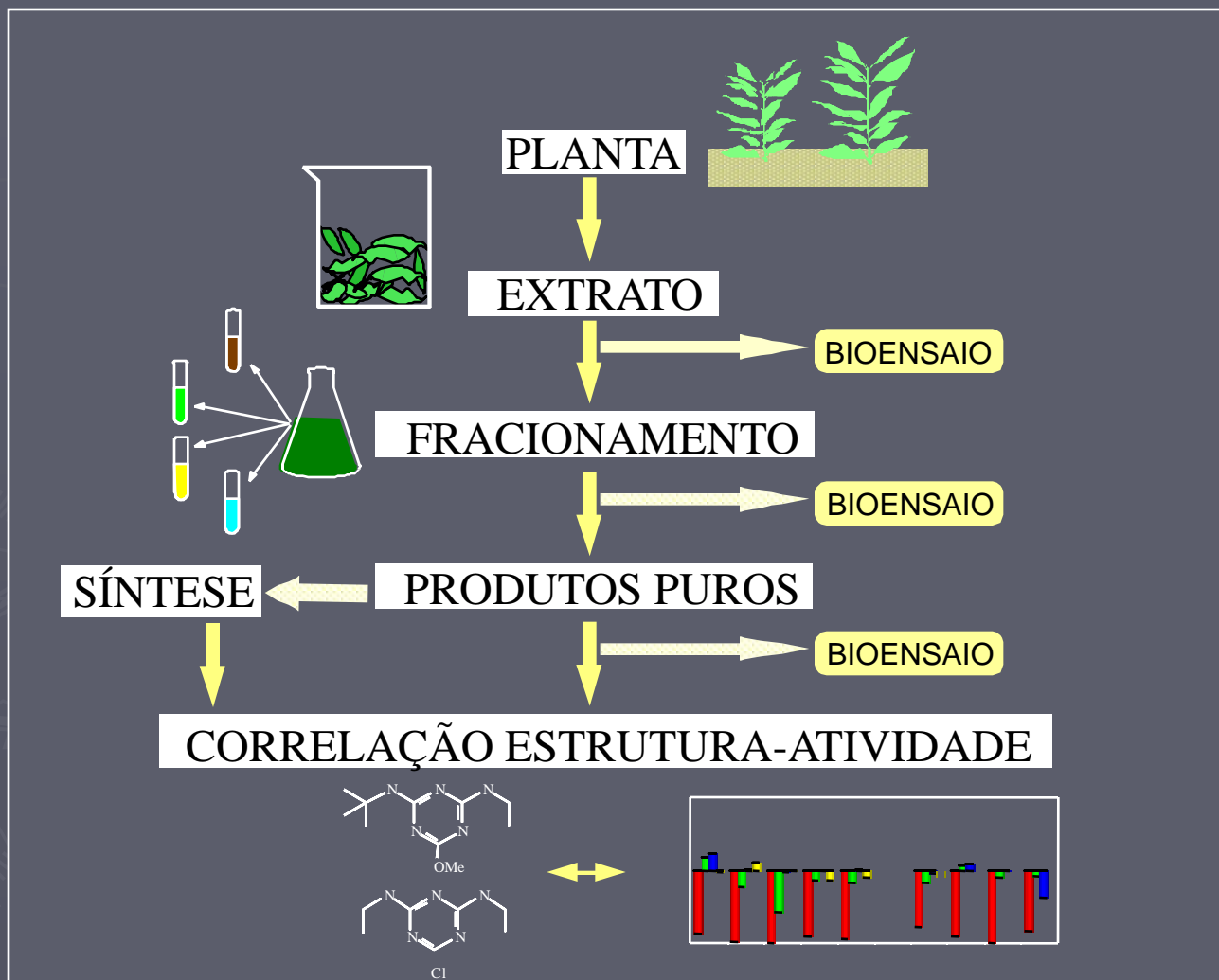
Culturas alelopáticas

A biossíntese de ácidos hidroxâmicos (DIBOA) em centeio e milho, e as enzimas chaves e os genes envolvidos, já são conhecidos

Aplicações Práticas da Alelopatia

- ✓ Uso de plantas alelopáticas
- ✓ Identificação de compostos
- ✓ Síntese de compostos

ISOLAMENTO BIODIRIGIDO

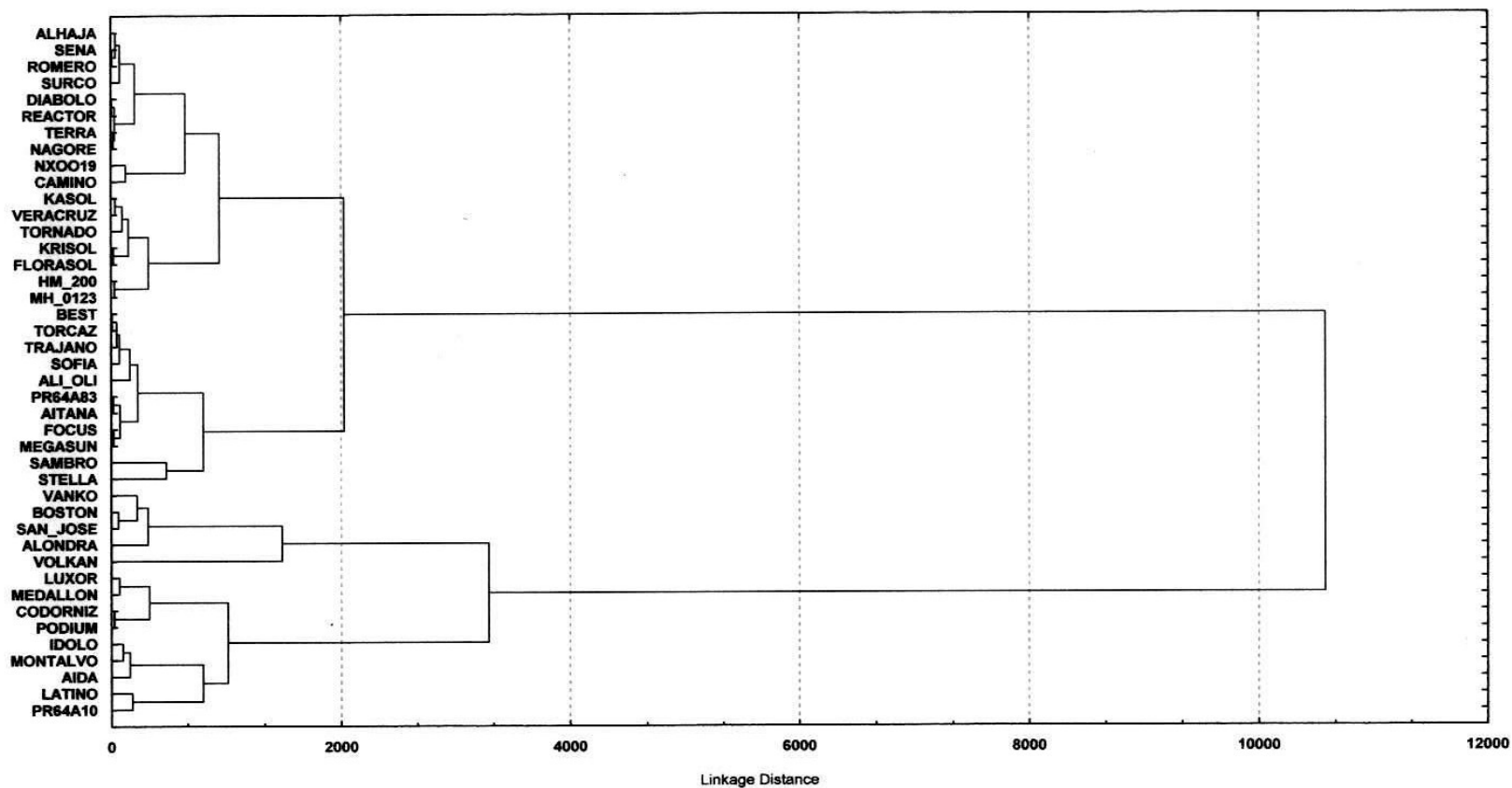




ENSAIOS DE BIOATIVIDADE VARIEDADES DE GIRASSOL



Agrupamiento 42 Variedades de Girasol
Datos Coleóptilos

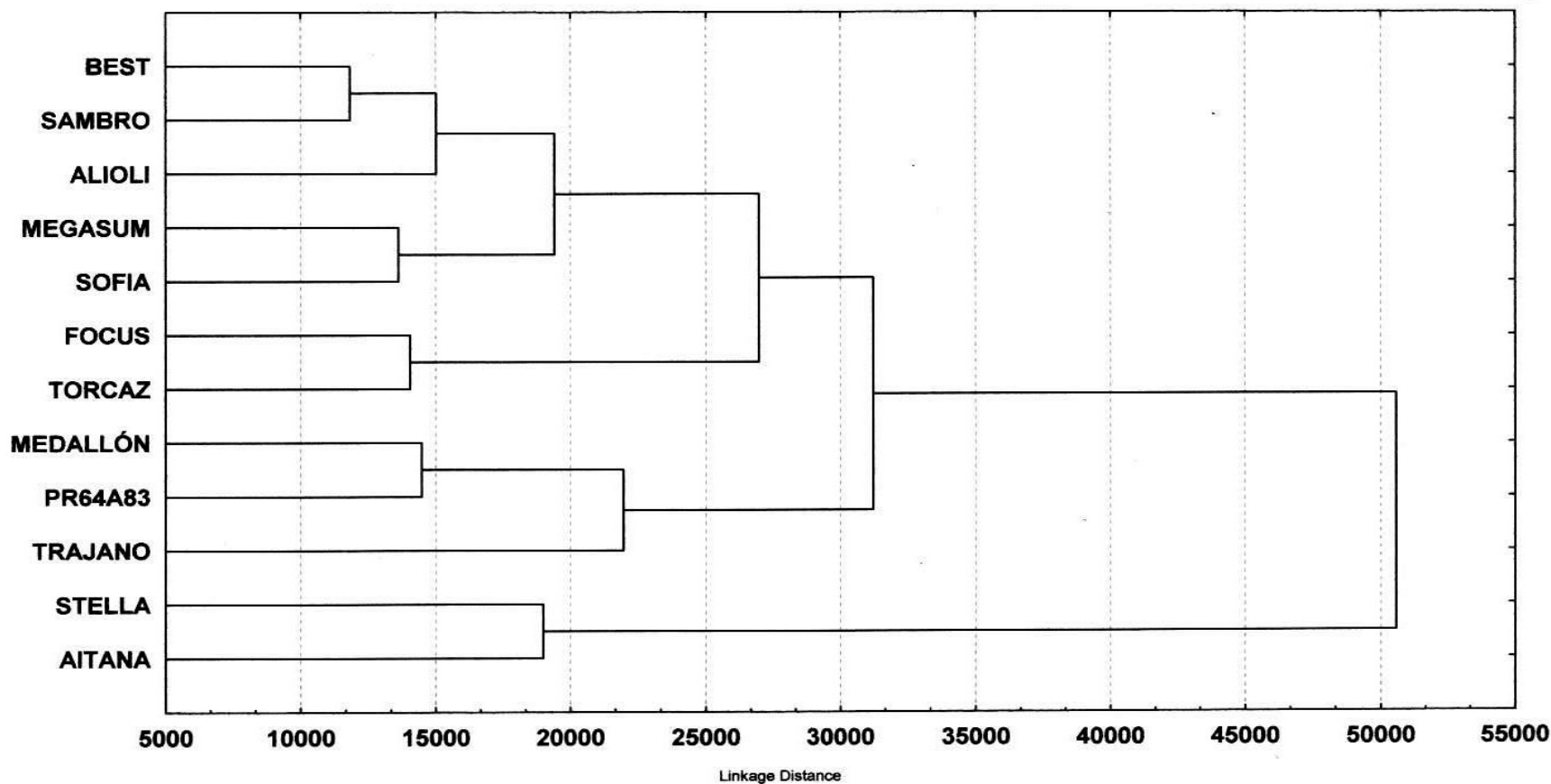


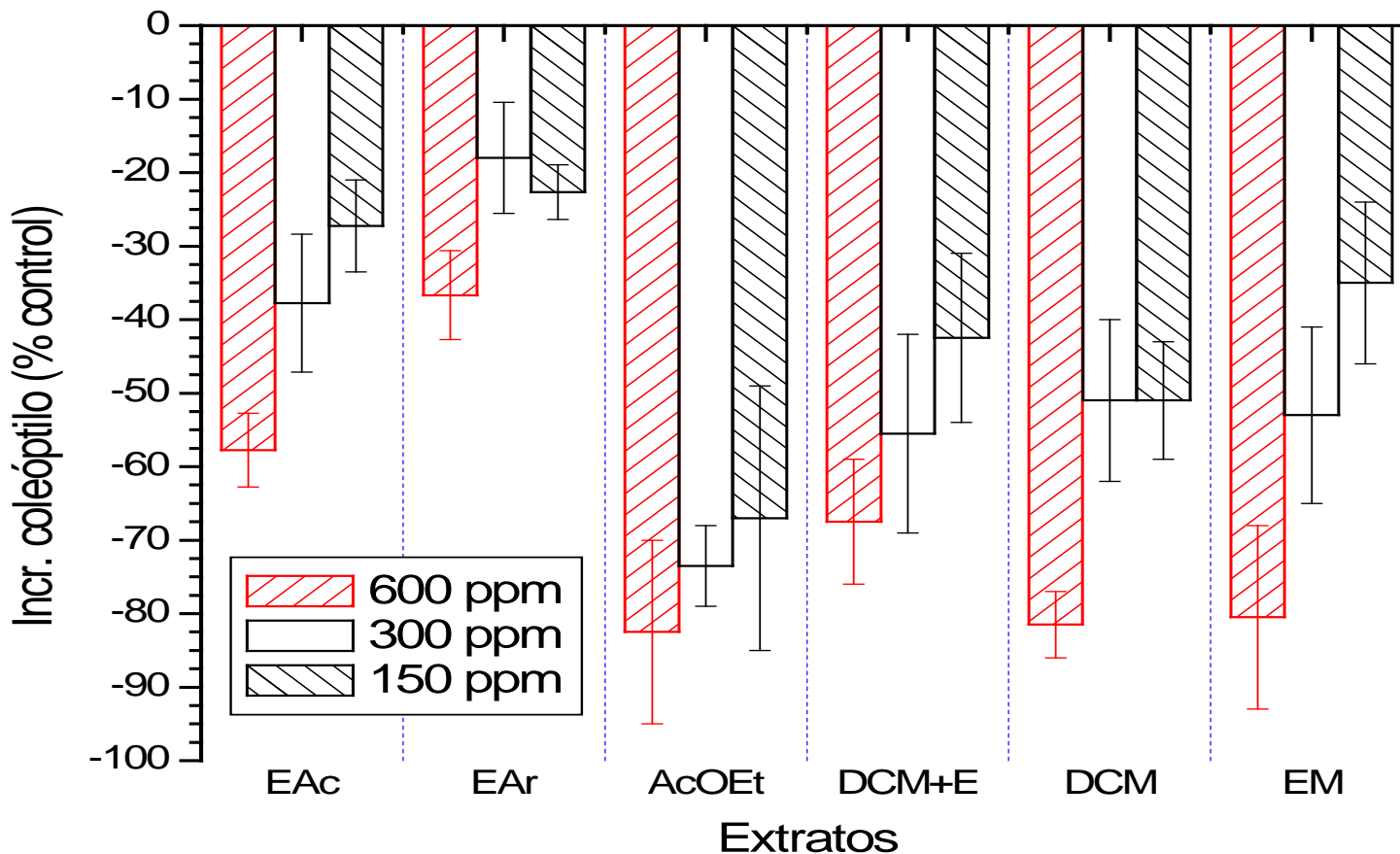


ENSAIOS DE BIOATIVIDADE VARIEDADES DE GIRASSOL



Agrupamiento 12 Variedades de Girasol
Datos Germinación y Crecimiento

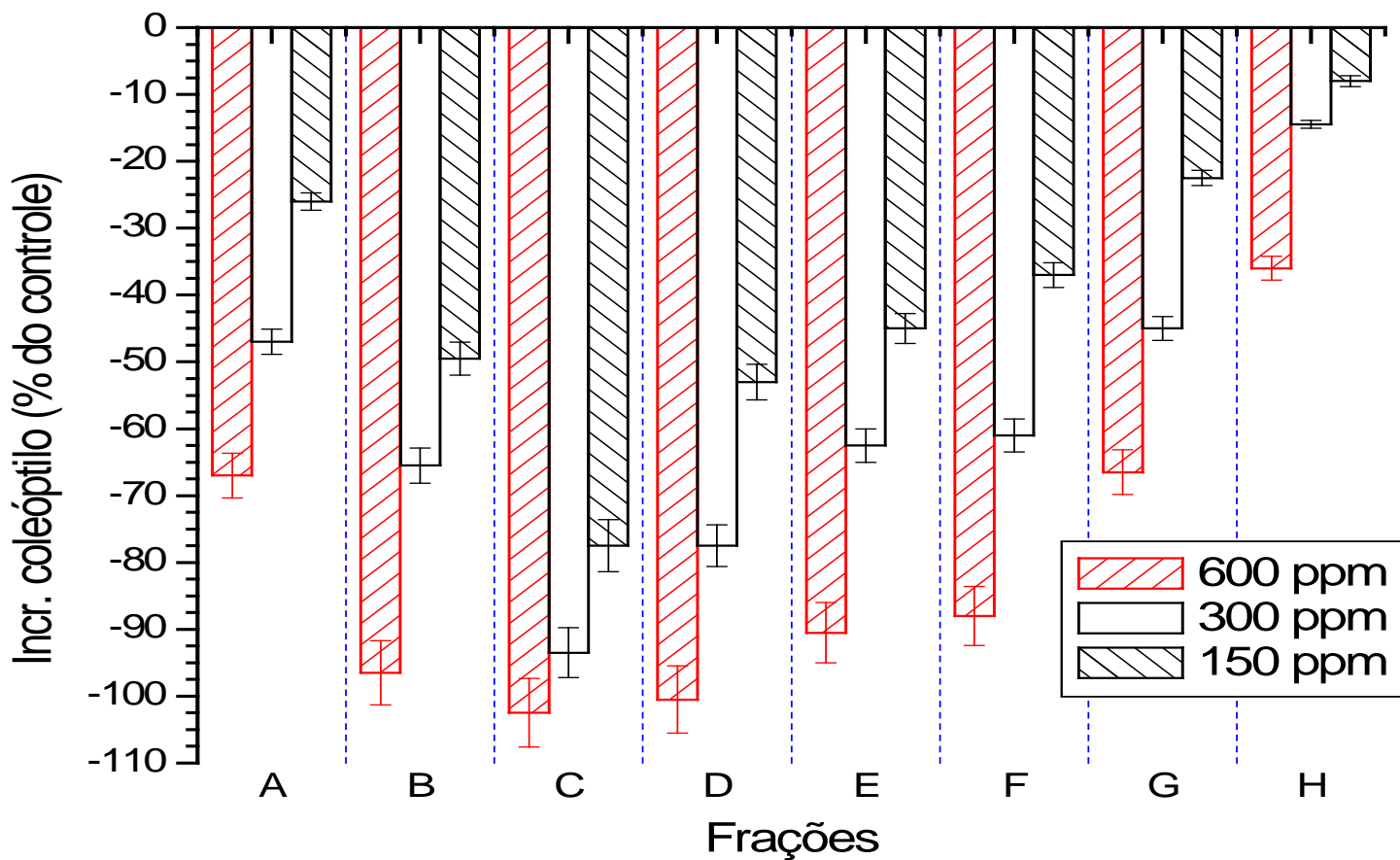






ENSAIOS DE BIOATIVIDADE

VARIETADES DE GIRASSOL



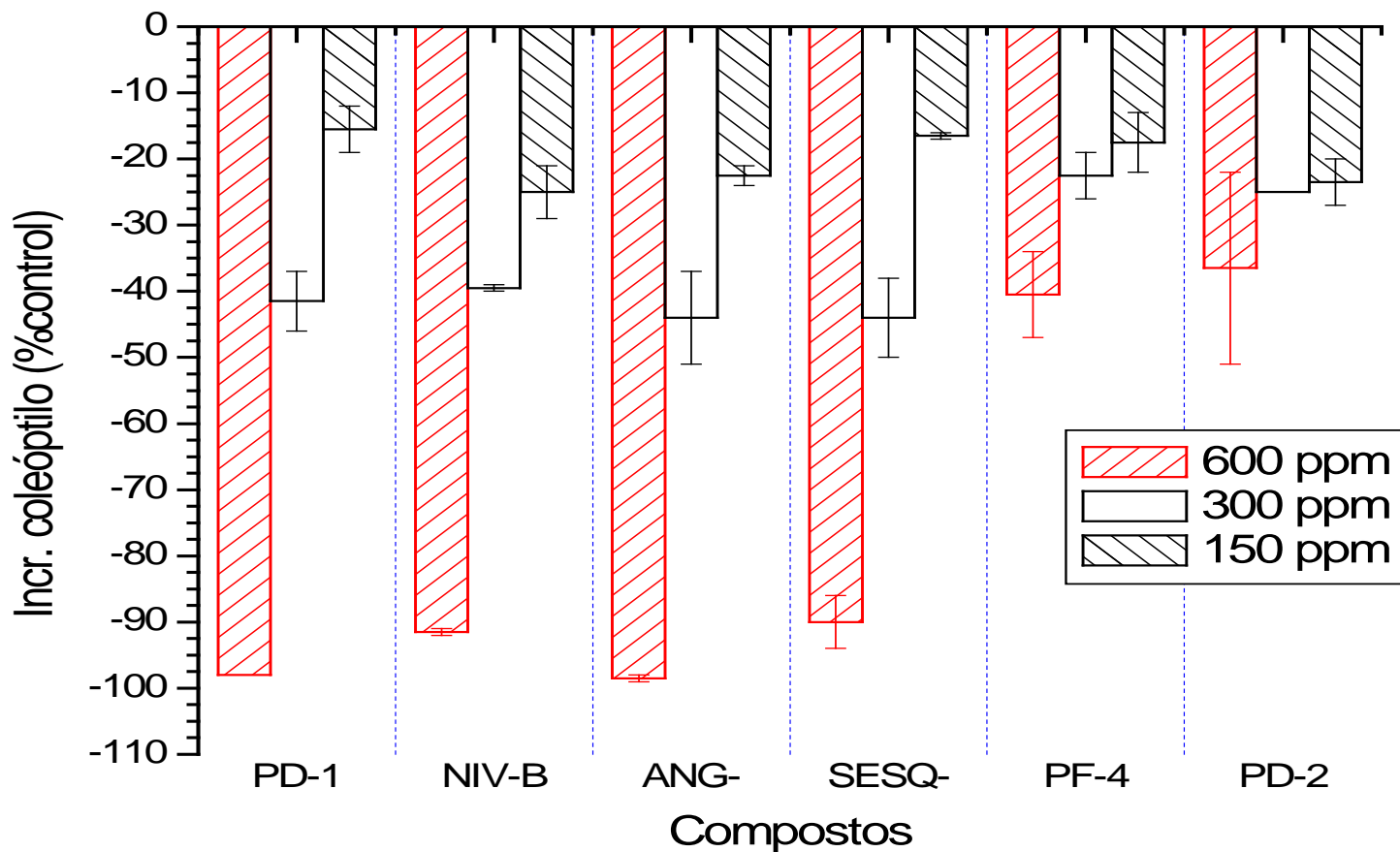


ENSAIOS DE BIOATIVIDADE VARIEDADES DE GIRASSOL



Nº	Composto	Quantidade (mg)	Nº	Composto	Quantidade (mg)
1	Annuinona "A"	6	10	Tambulina	100
2	Annuinona "E"	20	11	Produto Novo	30
3	4,5-Dihidroblumeol "A"	3	12	Niveusina "B"	50
4	(3S,5R,6S,9R)-3,6-dihidroxi-5,6-dihidro- β -ionol	5	13	15-hidroxi-3-deshidrodesoxifruticina	70
5	Ácido kaur-16-em-19-óico	10	14	11 β H-dihidrochamissonina	10
6	Ácido 17-hidroxikauranóico A	5	15	8- β -angeloiloxicumambranólida	10
7	Ác. angeloilgrandiflorico	3	16	Produto Novo -1	5
8	Laricirresinol	5	17	Leptocarpina	5
9	Pinorresinol	15	18	Dímero – PD 2	60

PD = annuolida "H", PD1 = helivypolida F e o dímero PD2 = helivypolida G



PD1 = helivypolida F e o dímero PD2 = helivypolida G, niveusina B (NIV-B), 15-hidroxi-3-deshidrodesoxifruticina (SESQ), 11 β H-dihidrochamissonina (PF-4) e 8- β -angeloiloxicumambranólida (ANG),

Identificação de aleloquímicos

Ele ou seu sintético
poderão ser utilizados
como herbicida natural

Seleção de aleloquímicos

A forma mais óbvia de se utilizar um aleloquímico como um herbicida é aplicá-lo diretamente como um herbicida sintético

Seleção de aleloquímicos

São poucos os aleloquímicos usados diretamente como herbicidas:

- ▶ Bialafós - Japão
- ▶ Glufosinato, uma versão sintética da fosfinotricina (transgênicas)
- ▶ Ácido pelargônico - faz. orgânicas

Seleção de aleloquímicos

A maioria dos compostos isolados em laboratório e que possuem ação herbicídica (atuam em concentrações milimolares em placas de Petri), possuem fraca ação no solo ou quando aplicados em plantas sob condições de campo

Seleção de aleloquímicos

- Monoterpeno 1,8-cineole e seu derivado comercial - *cinmethylin*
- Considerado primeiro herbicida alelopático comercial (Argold).
- Não é produto natural, mas sua estrutura é muito similar ao natural.
- Mecanismo de ação ainda é desconhecido e parece ser novo.

Seleção de aleloquímicos

- Os herbicidas comerciais tricetônicos, como sulcotrione e mesotrione, são derivados de uma fitotoxina estruturalmente similar, a leptospermone, uma constituinte de *Calistemon citrinus*
- Ambas inibem a atividade da *p*-hidroxifenilpiruvato dioxigenase .

Seleção de aleloquímicos



Seleção de aleloquímicos

- Tentoxina, isolado de *Alternaria alternata* com excelente atividade no solo; atua em diversos sítios e controla uma gama de plantas daninhas infestando as culturas da soja e milho .
- Hidantocidina, produzido por *S. hygrosopicus*, atua como um potente inibidor da adenilsuccinato sintetase
- Sorgoleone e vários análogos são estruturalmente similares a plasfoquinona, inibem o FSII

Seleção de aleloquímicos

- Triclorina A (*I. tricolor*) potente desacoplador.
- Brassinoesteróides - isolado de diversos vegetais. Nova classe de hormônio vegetal (10^{-10} M).
- Grupo de diterpenos - guassinóides (Simaroubaceae) - 10^{-5} M, atuam sobre a NADH-oxidase
- Lactonas sesquiterpênicas - 10^{-6} a 10^{-9} M

Seleção de aleloquímicos

- Grande variedade de aleloquímicos: traçar estratégias para a escolha de candidatos a herbicidas naturais.
- Duas estratégias:
 - a) testar produtos que tenham sido isolados anteriormente para outros propósitos e
 - b) isolar produtos naturais guiado por bioensaios, a partir de plantas selecionadas por suas características etnobotânicas.

Seleção de aleloquímicos

Portanto, o isolamento de novos compostos é talvez a melhor aproximação ao descobrimento de herbicidas naturais e, com eles, novos sítios de ação que poderão ter valor comercial

Seleção de aleloquímicos

Há milhares de potentes fitotoxinas naturais, mas poucas de uso comercial.
Por que?

- Síntese ser extremamente cara
- Meia vida ser extremamente curta
- As propriedades físico-químicas não permitirem que eles sejam bem absorvidos e/ou translocados na planta alvo

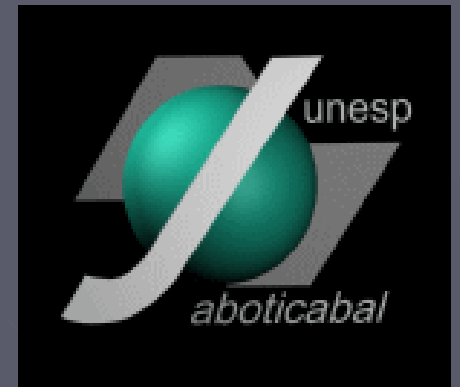
Vantagens dos aleloquímicos

- Apresentam alta variabilidade estrutural.
- Atuam de forma seletiva e em baixas concentrações.
- Oferecem a possibilidade de caracterizar novos alvos celulares e novos mecanismos de ação.
- Cumprem os requisitos agronômicos, ambientais e econômicos referentes à agricultura sustentável.

Petsko et al. (1999).

Perspectivas para o uso da alelopatia

- Intensificar o uso de culturas sufocantes e/ou alelopáticas no manejo de plantas daninhas;
- Explorar o uso de coberturas mortas, isoladas ou em mistura com herbicidas residuais;
- Explorar a biodiversidade brasileira visando a obtenção de produtos naturais com potencial de uso como defensivos agrícolas.



E é isso...

Obrigado

plalves@fcav.unesp.br

