SBCPD
Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas

# XXVIII
## CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS

## A Ciência das Plantas Daninhas na Era da Biotecnologia

# Palestras

www.congressosbcpd.com.br

. 5063
9p
2

# A CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NA ERA DA BIOTECNOLOGIA

## XXVIII

Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas

**Palestras**

3 a 6 de setembro de 2012

Campo Grande, MS

UFRGS
Faculdade de Agronomia
BIBLIOTECA

**Organizadores**

Caio Antonio Carbonari

Elza Alves

Edivaldo Domingues Velini

Eduardo Antono Drolhe da Costa

Fernando Tadeu de Carvalho

Marcus Barifouse Matallo

Núbia Maria Correia

Ricardo Victória Filho

Roberto Estevão Bragion de Toledo

Robinson Antonio Pitelli

Sjs. 868454

## *Informações Gerais*

Todas os artigos e palestras publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.

632.5063
C749p
2012

## *Tiragem*

1.000 exemplares

## *Diagramação*

ESA Comunicação (www.esa-comunicacao.com.br)

## *Ficha Catalográfica*

### *Elaborada Pela Seção Técnica De Aquisição E Tratamento Da Informação – Serviço Técnico De Biblioteca E Documentação Unesp - Fca - Lageado - Botucatu (Sp)*

Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas
(28. : 2012 : Campo Grande, MS)

P157 Palestras [do] 28. Congresso Brasileiro das Plantas Daninhas, 3 a 6 de setembro de 2012 : a ciência das plantas daninhas na era da biotecnologia/ Organizadores

Caio Antonio Carbonari ... [et al]. – Londrina:
Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2012
114 p. : il., gráfs., tabs.

ISBN 978-85-98410-06-7
Inclui bibliografia

1. Biotecnologia. 2. Erva daninha. 3. Erva daninha – Controle. 4. Herbicidas. 5. Resistência a herbicidas. I. Carbonari, Caio Antonio. II. Alvez, Elza. III. Velini, Edvaldo Domingues. IV. Costa, Eduardo Antono Drolhe da. V. Carvalho, Fernando Tadeu de. VI. Matallo, Marcus Barifouse. VII. Correia, Núbia Maria. VIII. Victória Filho, Ricardo. IX. Toledo, Roberto Estevão Bragion de. X. Pitelli, Robinson Antonio. XI. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. XII. A ciência das plantas daninhas na era da biotecnologia. XIII. Título.

CDD 23. ed. (632.5)

# Sumário

*Prefácio* ..... 5

*A Palavra do Presidente* ..... 7

***Capítulo 01*** *- O Futuro da Agricultura e do Manejo de Plantas aninhas.* ..... 9

***Capítulo 02*** *- Herbicide Resistance in the Americas – Status and Best Management Practices* ..... 19

***Capítulo 03*** *- The Use of Biotechnology in Weed Science* ..... 23

***Capítulo 04*** *- Avanços na Herbologia com uma Proposta Inovadora de Interação da Pesquisa Pública com a Indústria* ..... 27

***Capítulo 05*** *- Precisão Experimental na Ciência das Plantas Daninhas* ..... 33

***Capítulo 06*** *- Precisão Amostral na Ciência das Plantas Daninhas.* ..... 39

***Capítulo 07*** *- Comportamento de Herbicidas no Solo* ..... 49

***Capítulo 08*** *- Estimativa do Volume de Água Contaminada por Herbicidas como Indicador da Sustentabilidade da Cana-de-Açúcar* ..... 57

***Capítulo 09*** *- Monitoramento e Tecnologias para Redução de Deriva em Aplicações de Herbicidas* ..... 61

***Capítulo 10*** *- Plantas Daninhas e seus Efeitos na Cultura do Algodoeiro* ..... 67

***Capítulo 11*** *- Novas Tecnologias no Manejo de Plantas Daninhas no Algodão* ..... 71

***Capítulo 12*** *- Classical Biological Control of Weeds in Area of Conservation: Opportunities for Brazil Based on a Global Perspective* ..... 75

***Capítulo 13*** *- Manejo de Plantas Daninhas em Áreas de Reflorestamento de Eucalipto NA FiBRIA - MS* ..... 83

***Capítulo 14*** *- Controle Químico de Plantas Daninhas em Reflorestamento* ..... 89

***Capítulo 15*** *- Manejo Integrado de Plantas Daninhas em Soja* ..... 93

***Capítulo 16*** *- Inovações na Prevenção e Manejo de Populações de Plantas Daninhas Resistentes a herbicidas no Brasil* ..... 97

***Capítulo 17*** *- O uso dos Herbicidas como Ferramenta de Manejo de Plantas Daninhas em Pastagens* ..... 103

***Capítulo 18*** *- Global Strategies for the Management of Herbicide Resistance Weeds* ..... 115

# *A CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NA ERA DA BIOTECNOLOGIA*

**Presidente** Fernando Tadeu de Carvalho - FEIS/UNESP - Ilha Solteira/SP
**Vice – Presidente** Francisco de Assis Rolim Pereira - UNIDERP - Campo Grande/MS

**Comissão Técnico-Científica**
**Coordenador** Caio Antonio Carbonari – FCA/UNESP – Botucatu/SP
**Vice-coordenadora** Elza Alves – UNESP – Registro/SP
Antonio Alberto da Silva – UFV – Viçosa/MG
Cleber Daniel de Goes Maciel – UEM – Umuarama/PR
Edivaldo Domingues Velini – FCA/UNESP – Botucatu/SP
Eduardo Antonio Drolhe da Costa - CATI/APTA
Fernando Adegas –EMBRAPA SOJA- Londrina/PR
Jamil Constantin – UEM – Maringá/PR
Leandro Vargas – EMBRAPA – Passo Fundo/RS
Marcus Barifouse Matallo – Instituto Biológico – Campinas/SP
Núbia Maria Correia – FCAV/UNESP – Jaboticabal
Ricardo Victória Filho – ESALQ/USP – Piracicaba/SP
Roberto Estevão Bragion Toledo - HRAC
Robinson Antonio Pitelli – FCAV/UNESP – Jaboticabal/SP

**Comissão Financeira e Sub-Comissão de Logística e Turismo**

Francisco de Assis Rolim Pereira – UNIDERP - Campo Grande/MS
Fernando Tadeu de Carvalho – FEIS/UNESP - Ilha Solteira/SP
Patrícia Monquero - UFSCAR – Araras/SP
Edevalter Açúcar Rafachine

**Comissão de Divulgação (Representantes Regionais)**

Região Norte: Eliane Regina Archangelo UNITINS – Palmas/TO
Região Norte: Antônio Pedro da Silva Souza Filho – EMBRAPA – Belem/PA
Região Nordeste: Francisco Claudio (Rio Grande do Norte)
Região Nordeste: Maria Rosângela Malheiros Silva – UEM – São Luis/MA
Região Centro-Oeste: Sidnei Roberto de Marchi – UFMG – Barra do Garça/MT
Região Centro-Oeste: Tarcisio de Oliveira Valente – UFGD – Dourados/MS
Região Centro-Oeste: Paulo Cesar Timossi – UFG – Jataí/GO
Região Sudeste: Carlos Alberto Mathias Azânia – IAC - Ribeirão Preto
Região Sul: Aldo Merotto Junior – UFRGS – Porto Alegre/RS
Região Sul: José Alberto Noldin – EPAGRI – Itajaí/SC

**Comissão de Captação de Recursos**

Dana Katia Meschede – FIO - Ourinhos/SP
Décio Karam – EMBRAPA - Sete Lagoas/MG
Dionísio Luiz Pizza Gazziero – EMBRAPA – Londrina/PR
Guilherme Luiz Guimarães - São Paulo/SP

**Comissão de Relações Internacionais**

Pedro Luis da Costa Aguiar Alves – FCAV/UNESP – Jaboticabal/SP
Pedro Jacob Christofoletti – ESALQ/USP – Piracicaba/SP
Ribas Antonio Vidal - UFRGS - Porto Alegre/RS
Rubens Silvério de Oliveira Junior – UEM – Maringá/PR

**Comissão de Relações Institucionais**

Benedito Noedi Rodrigues – IAPAR – Londrina/PR
João Baptista da Silva - Sete Lagoas/MG
Júlio Cezar Durigan – FCAV/UNESP – Jaboticabal/SP
Luiz Lonardoni Foloni - UNICAMP – Campinas/SP

# Prefácio

A Ciência das Plantas Daninhas vive um momento de desenvolvimento e implementação de grandes inovações tecnológicas e consequentemente de muitas mudanças.

A manipulação genética na agricultura foi uma das mais importantes descobertas da ciência nos últimos anos. Esta nova tecnologia tem grande destaque no cenário mundial, sendo hoje uma das principais ferramentas para manutenção da produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

No entanto, os avanços da tecnologia trazem desafios cada vez maiores e, apesar dos inúmeros benefícios apresentam riscos e problemas, como por exemplo, o surgimento de novos casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Desde o início da humanidade, cada nova descoberta científica gera grande impacto na sociedade, o que nos leva a uma busca por respostas para encontrar soluções aos questionamentos e problemas levantados pela sociedade.

Esta publicação reune as palestras apresentadas no XXVIII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, o qual apresenta como tema ***"A Ciência das Plantas Daninhas na Era da Biotecnologia",*** tendo por objetivo promover a troca de informações e conhecimentos, assim como a discussão científica entre os participantes, para o desenvolvimento científico e tecnológico, enfocando o uso da biotecnologia e seus reflexos no manejo das plantas daninhas e abordando também temas importantes, como experimentação e análise de dados, comportamento de herbicidas no ambiente e manejo integrado de plantas daninhas em diferentes culturas.

# Palavra do Presidente

O Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, em sua 28ª edição, tem como tema "A Ciência das Plantas Daninhas na Era da Biotecnologia". Trata-se de um assunto atual e comprometido com o futuro, numa fase em que a agricultura brasileira vive um momento especial. Momento em que nossa produção agrícola de grãos responde por aproximadamente 35% das exportações, sem comprometer o abastecimento interno; em que atingimos a condição de maior produtor mundial de soja; em que dominamos a transgenia e que, com esta técnica, deixamos de utilizar uma grande quantidade de defensivos; em que adotamos, em definitivo, o sistema de plantio direto, técnica conservacionista por excelência, que responde por mais da metade da área cultivada com grãos e que somente é possível com o uso de herbicidas; em que nossa área de milho safrinha superou pela primeira vez a área de milho verão, o que demandou anos de pesquisa, experimentação e difusão de tecnologia. Da mesma forma, na cultura da cana-de-açúcar, nossa hegemonia em biocombustível, solução energética que é exemplo para o mundo. Produzimos algodão de qualidade, igualando-se aos melhores do mundo. Nossas áreas de reflorestamento atingiram nove milhões de hectares, demonstrando nossa aptidão em conservação do meio ambiente; e tantas outras situações, todas elas acompanhadas por adequados manejos das plantas daninhas. Dessa forma, o XXVIII CBCPD procurou abordar as principais tecnologias que norteiam a fase atual de nossa agricultura e, com foco no futuro, destacou o estudo do manejo da resistência de plantas daninhas e o desenvolvimento de alternativas biotecnológicas. Por outro lado, procuramos valorizar o histórico de nossa Sociedade Cientifica, considerando desde o nosso primeiro Congresso quando em 1956 a ideia foi plantada e nas edições posteriores, quando foi sabiamente cultivada. Por fim, queremos agradecer aos nossos amigos que trabalharam como voluntários para manter acesa a chama de nosso Congresso, agradecer a todas as Instituições e Empresas que nos apoiaram e agradecer ao Estado do Mato Grosso do Sul que nos acolheu e nos apoiou de forma tão especial. Com as nossas saudações a todos os Congressistas, subscrevemo-nos.

***Prof. Fernando Tadeu de Carvalho (presidente)***
***Prof. Francisco de Assis Rolim Pereira (vice-presidente)***

# O Futuro da Agricultura e do Manejo de Plantas daninhas

Edivaldo Domingues Velini[1]; Maria Lucia Bueno Trindade[1]; Caio Antonio Carbonari[1]

**1: Faculdade de Ciências Agronômicas / UNESP – Botucatu. Departamento de Produção Vegetal – Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia.**

## Introdução

Tratar do futuro do manejo das plantas daninhas é um trabalho extremamente complexo e sujeito a erros. Se o estudo e compreensão das plantas daninhas e seu manejo já é complexo por si, estabelecer projeções para estes assuntos em um futuro de médio e longo prazo é um grande desafio. Os dias atuais são marcados pela rápida produção de informações e conhecimentos. O conhecimento e a informação são produzidos, armazenados e disponibilizados em ritmos jamais observados ou mesmo imaginados em outras épocas. Em algumas áreas do conhecimento, as informações se tornam ultrapassadas em menos de um ano.

A atualidade também é marcada por eventos e tecnologias pouco previsíveis e de alto impacto em vários setores da economia e do nosso cotidiano. São exemplos: o sistema de posicionamento global (GPS), a Internet e o conjunto de novas ferramentas fundamentadas na genética molecular. Assim como varias outras atividades humanas, o manejo de plantas daninhas foi profundamente alterado pelos três exemplos citados. O uso do GPS está diretamente relacionado ao uso da agricultura de precisão. A Internet permitiu difundir e acessar a informação em níveis jamais vistos anteriormente. As ferramentas genômicas permitiram a criação de culturas geneticamente modificadas com capacidade de resistir aos herbicidas, iniciando uma nova fase no manejo das plantas daninhas.

Estes são apenas três exemplos de eventos de alto impacto que ocorreram nos últimos 30 anos e que estão associados a novas tecnologias e novos conhecimentos. Há vários outros eventos de importância similar, como a fotografia digital, a evolução em todos os ramos da química (ambiental, analítica e de síntese, por exemplo) e a compreensão de que o nosso planeta é finito e não tem como suportar indefinidamente os impactos promovidos pela humanidade. De fato as transformações relacionadas aos eventos de alto impacto ligados à evolução da ciência e da tecnologia (citados ou não neste texto) ainda estão acontecendo e se aprofundando. Apenas como exemplos, as inovações relacionadas à Internet, à genética molecular e em química ocorrem de modo praticamente contínuo. No futuro, seremos afetados pelos impactos associados à consolidação destas revoluções que estão em curso e por aqueles associados a novas tecnologias de ruptura que ainda serão produzidas.

Se há muitas dúvidas sobre o futuro, também há várias certezas e talvez a maior delas é a de que a população mundial continuará crescendo e se alimentando. A demanda mundial por alimentos crescerá continuamente (em quantidade e qualidade) pelo menos nos próximos 40 anos. Temos um grande desafio pela frente que é manter ou reduzir os preços e aumentar a qualidade, a diversidade, a sustentabilidade da produção e a quantidade de alimentos produzidos.

A demanda por fibras e energia crescerá praticamente no mesmo ritmo da demanda por alimentos. Em termos de energia, a busca da renovação das fontes e da sustentabilidade da produção tem feito com que a bioenergia tenha importância cada vez maior em vários países. Ainda há um quarto mercado relevante e que poderá, também, ser atendido pela agricultura, que é o de produtos ecossistêmicos, incluindo créditos de carbono e de água.

Haverá a necessidade de aumentar a produção atual das principais commodities agrícolas entre 60% a 100% até 2050. Os estoques mundiais já se encontram em níveis críticos, desencadeando uma forte elevação de preços. Os preços atuais já são próximos ou superiores aos de 2008 quando a inflação dos alimentos era uma das principais preocupações nacionais e mundiais. Muitas das commodities agrícolas têm mais de uma aptidão podendo ser utilizadas no atendimento simultâneo de demandas por alimentos, fibras, energia e serviços ecossistêmicos o que acrescenta uma importante dose de incerteza aos seus mercados internacionais e preços.

Está claro que o nosso planeta tem limites e estamos próximos a alcançar ou ultrapassar vários deles como a disponibilidade de recursos naturais; a capacidade de assimilar os efeitos das atividades humanas e a disponibilidade de novas áreas para a agricultura, por exemplo.

A expansão da produção precisará ocorrer de modo sustentável e, para isso, precisará se apoiar cada vez mais nas novas tecnologias. A busca da sustentabilidade da produção agrícola passa obrigatoriamente pela sustentabilidade do manejo de plantas daninhas.

## *Características de plantas daninhas.*

Há um amplo conjunto de conceitos de plantas daninhas criados em diferentes momentos e com diferentes propósitos, mas todos eles consideram que estas plantas interferem negativamente nas atividades humanas. A grande diversidade de espécies e características desenvolvidas pelas plantas daninhas impossibilita a criação de um conceito objetivo assim como a seleção de um conjunto único de características que as tornam aptas a ocorrerem como daninhas, mas procuraremos apresentar e discutir o que entendemos como as principais características gerais de plantas daninhas:

a) São plantas com grande habilidade em se reproduzir. As características dos propágulos (grandes ou pequenos; diferentes tipos de dormência; longevidade) se ajustam às diferentes condições e pressões ambientais;
b) Distribuem sua germinação e sua prole no espaço (dispersão) e no tempo (dormência, longevidade e controle da germinação);
c) São pouco exigentes para crescerem e se reproduzirem;
d) Utilizam várias táticas para ocupar os ambientes disponíveis (exemplo: produção de compostos alelopáticos ou o parasistismo de plantas cultivadas);
e) As populações e comunidades de plantas daninhas apresentam elevada diversidade genética e se adaptam ao ambiente e a modificações nos sistemas de produção (exemplos: presença de palha; preparo ou não do solo). A diversidade genética pode ser associada à ocorrência de diferentes gêneros e espécies ou à ocorrência de diferentes genótipos de uma mesma espécie;
f) Resistem ao controle. Não apenas aos herbicidas, mas a qualquer prática de controle que seja desenvolvida e utilizada.

## *Prejuízos provocados e métodos de controle de plantas daninhas.*

Não podemos esquecer-nos de algo muito simples e fundamental: plantas daninhas são plantas. É extremamente complexo desenvolver programas de controle de plantas daninhas com elevado nível de eficácia para um amplo conjunto de espécies daninhas, sem que ocorra qualquer tipo de efeito sobre as plantas cultivadas. O controle de plantas daninhas deve garantir e não colocar em risco a produção. Há ainda, outras preocupações como a contaminação do ambiente, dos produtos obtidos, dos consumidores e dos produtores. Quem lida com o controle de plantas daninhas precisa sempre considerar que um método altamente eficaz pode não ser a melhor alternativa se comprometer qualquer uma das características citadas.

Temos que ajustar a intensidade das práticas de controle (relacionada à eficácia, dose, persistência e uso de misturas de herbicidas, por exemplo) avaliando todos estes aspectos. Considerando essas preocupações, podemos afirmar que plantas daninhas:

a) Competem pelos vários fatores de crescimento e podem produzir compostos alelopáticos, reduzindo a produção agrícola;
b) Podem ser tóxicas para animais de interesse ou humanos;
c) Podem hospedar / multiplicar organismos prejudiciais às plantas cultivadas (pragas, nematoides e causadores de doenças, por exemplo);
d) Podem facilitar a ocorrência de incêndios e dificultar tratos culturais e a colheita.
f) Interferem sobre as plantas cultivadas, entendendo-se por interferencia todo o conjunto de efeitos das plantas daninhas sobre as plantas cultivadas;
g) Tornam necessários os métodos de controle. Em praticamente todas as situações em que se cultivam plantas, o uso de métodos do controle é fundamental para garantir a produção;
Indiretamente, são responsáveis por todos os efeitos econômicos, ambientais e sociais dos métodos de controle.

Mesmo quando as práticas de controle são eficazes e evitam todos os possíveis efeitos das plantas daninhas discutidos, há um importante prejuízo ao sistema de produção, pois o controle foi necessário e utilizado, promovendo todos os benefícios e prejuízos a ele associados. Dentre os principais riscos e prejuízos das práticas de controle de plantas daninhas, podemos citar:

a) Aumento do custo de produção. Está sempre presente, mesmo que o controle seja eficaz e seguro, há a necessidade de recursos financeiros para utilizá-lo;
b) Possíveis intoxicações da cultura e reduções de produtividade;
c) Possível ocorrência de contaminações do produto, do ambiente e dos produtores.

Considerando que o controle das plantas daninhas é feito na quase totalidade das áreas de produção agrícola, é fundamental estudar os efeitos dos métodos de controle sobre as plantas cultivadas, nas cadeias de produção e consumo e sobre o meio ambiente.

Quanto ao uso e características dos métodos de controle das plantas daninhas, também há considerações a serem apresentadas. A primeira refere-se à importância relativa dos vários métodos. O principal método de controle de plantas daninhas em áreas agrícolas é sempre a própria cultura. O segundo método mais importante é a cobertura do solo pela palhada (quando presente e não ocorre o preparo do solo). Os demais métodos de controle devem ser utilizados onde e quando o controle exercido pela cultura e pela cobertura do solo não é suficiente para controlar as plantas daninhas. Em geral, a necessidade dos demais métodos de controle é maior quando é baixa a ocupação do ambiente pela cultura com destaque para o início do ciclo. Considerando as limitações econômicas, ambientais e a segurança para a cultura, seria impossível controlar quimicamente (apenas como exemplo) as plantas daninhas ao longo de todo ciclo das culturas, se não pudéssemos contar com a valiosa contribuição da própria cultura e da palhada (quando presente).

Muitos ainda não se deram conta deste fato, mas utilizamos a integração de métodos de controle de plantas daninhas em praticamente todas as culturas anuais ou perenes. Mesmo quando desenvolvemos um programa de controle de plantas daninhas que aparentemente considera apenas o uso de herbicidas, estamos praticando o manejo integrado de plantas daninhas. Mesmo nesta condição, o papel do controle químico será secundário, cabendo à cultura e à palhada (quando presente) a maior parte da ação sobre a comunidade de plantas daninhas. Melhorar o crescimento da cultura é o único modo de intensificar o controle de plantas daninhas sem elevar os riscos para a mesma.

## *Contribuição dos estudos de biologia e ecologia de plantas daninhas.*

Embora o estudo de características de espécies habitualmente daninhas tenha sido sempre apregoado como fundamental para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo de plantas daninhas, a realidade nem sempre era esta. Muito esforço era feito no sentido de desenvolver as práticas de controle, principalmente os herbicidas, e pouco era feito em termos de ciência básica. Este panorama foi profundamente alterado com a ocorrência de plantas daninhas resistentes aos herbicidas.

Tornou-se fundamental aprofundar o conhecimento das plantas daninhas, para que fossem desenvolvidas novas estratégias de controle. Destacam-se os trabalhos nas áreas de fisiologia, bioquímica e genética molecular, relacionados à ação de herbicidas. Mas ainda são escassas as informações sobre autoecologia, estrutura genética das populações e estratégias reprodutivas das principais espécies de plantas daninhas.

Informações sobre os principais herbicidas de amplo uso e associados a culturas transgênicas.

## *Glyphosate*

O glyphosate é o herbicida de maior uso em todo o mundo e o seu mercado tem crescido continuamente nas últimas décadas. Em 2011-2012 o mercado mundial de glyphosate deverá superar um bilhão de kg do ácido glyphosate correspondendo, aproximadamente, a um bilhão de hectares tratados com o herbicida ao ano. Inicialmente foi desenvolvido como um herbicida de alto custo destinado ao controle de plantas perenes em função do seu amplo espectro de controle e capacidade de translocação. A redução do preço do glyphosate criou uma segunda onda de consumo e este herbicida se tornou a principal opção para as aplicações de manejo em plantio direto ou em cultivo mínimo em culturas anuais ou perenes, para o manejo de plantas daninhas em culturas perenes e em áreas não agrícolas. Uma terceira onda de consumo sustenta-se no uso de culturas geneticamente modificadas que são resistentes ao glyphosate.

O mercado de glyphosate tem crescido continuamente desde o seu lançamento, o que é uma boa notícia por tratar-se de um herbicida pouco tóxico com rápida dissipação no ambiente e associado ao uso de práticas conservacionistas. Mas este crescimento também gera preocupação na medida em que esta ferramenta se torna cada dia mais indispensável na maioria dos sistemas de produção agrícola e também em áreas não agrícolas. A hegemonia do glyphosate no controle de plantas daninhas precisa ser urgentemente associada a ações voltadas à sustentabilidade do seu uso. A redução da diversidade, associada ao uso contínuo de uma única prática de controle, cria condições altamente favoráveis para o desenvolvimento de plantas daninhas resistentes à mesma ou à seleção de espécies tolerantes. Para evitar ou minimizar a seleção de flora e a resistência é fundamental ampliar a diversidade das práticas de controle.

O glyphosate é tão importante para os sistemas de produção agrícola que a sustentabilidade do seu uso está relacionada à própria sustentabilidade destes sistemas. São exemplos de situações em que o glyphosate é indispensável: o cultivo mínimo em florestas de eucalipto, o plantio direto em soja ou milho, a integração lavoura-pecuária, a eliminação química de soqueiras de cana-de-açúcar. Além destes exemplos, é fundamental para o manejo de plantas daninhas em lagos, reservatórios, rodovias, ferrovias e em áreas urbanas ou industriais.

O desenvolvimento de resistência de plantas daninhas ao glyphosate é um evento que ocorre rapidamente e em escala mundial. Se os sistemas de produção não forem alterados para se contrapor a este efeito, há o risco real de que o uso deste herbicida sofra severas restrições nos próximos anos, com impactos altamente negativos para vários dos sistemas de produção conservacionistas.

## *Glufosinate*

O uso deste herbicida também cresce rapidamente em função de suas características técnicas (espectro de controle e modalidades de uso), ambientais, toxicológicas e do desenvolvimento de culturas resistentes. O glufosinate distingue-se dos demais herbicidas utilizados em larga escala por ser produzido por fermentação e não por processos convencionais de síntese.

## *2,4-D e dicamba*

Culturas resistentes a estes herbicidas estão sendo desenvolvidas e poderão se tornar importantes ferramentas no manejo de plantas daninhas resistentes a outros herbicidas, sobretudo do glyphosate. São herbicidas com perfis toxicológicos e ambientais bastante favoráveis.

No caso do 2,4-D há outro aspecto bastante favorável e relevante: apesar de amplamente utilizado nos últimos 65 anos, ainda são escassos os relatos de resistência, possivelmente em função da complexidade do seu mecanismo de ação.

## *Breve histórico do controle de plantas daninhas.*

As informações apresentadas foram compiladas a partir de várias publicações e textos em jornais e revistas destacando-se os trabalhos de Anderson (1977), Klingman e Ashton (1975), Appleby (2005) e Timmons (2005). Infelizmente não há trabalhos procurando levantar informações históricas sobre o controle de plantas daninhas na América Latina. Apresentamos, a seguir, um cronograma simplificado dos principais fatos relacionados ao tema. As datas são aproximadas e não há unanimidade entre as fontes citadas e outras disponíveis, sobre as mesmas.

a) Início da agricultura (6.500 a.c.) até os anos 1600-1650: o controle era feito manualmente.
b) 1600 a 1890: grande avanço e uso do controle mecânico com tração animal. A partir deste período houve grande evolução do cultivo mecânico com uso de tratores.
c) Final do século 19: além do controle mecânico já havia o uso de calda bordaleza.
d) 1900 a 1945: expansão do controle químico com uso de ácidos e sais inorgânicos com destaque para o ácido sulfúrico, o arseniato de sódio, o nitrato de cobre, o sulfato de ferro e diversos sais de amônio, sódio e de potássio. O acetato de dinoseb foi introduzido em 1932.
e) 1925: início do programa de controle biológico clássico de *Opuntia* spp utilizando insetos desenvolvido na Austrália. Vários outros exemplos de grande sucesso foram desenvolvidos até os dias atuais. A partir de 1980 foi intensificado o uso do controle biológico utilizando a estratégia inoculativa, fundamentado em patógenos, principalmente.
f) 1944 a 1955: desenvolvimento de vários herbicidas que são ácidos fenóxicos: 2,4-D; MCPA; 2,4,5-T. Destaca-se o 2,4-D com amplo uso até os dias atuais e o primeiro exemplo de herbicida seletivo (controla preferencialmente dicotiletôneas).
g) Entre 1950 e 1960: desenvolvimento do conceito de controle em pré-emergência. O primeiro herbicida registrado para uso em pré-emergência foi o monuron, em 1952. Alguns herbicidas de grande destaque mundial, como o diuron e a atrazina, foram sintetizados e registrados nesta década.
h) De 1960 aos dias atuais: registro de um amplo conjunto de herbicidas, com diferentes características e modos de utilização.
i) 1971: registro do glyphosate. Este foi o primeiro composto a proporcionar efetivo controle de plantas perenes com reprodução vegetativa como *Cyperus rotundus*.
j) De 1990 aos dias atuais: grande redução do preço médio do glyphosate viabilizando o uso em larga escala do plantio direto / cultivo mínimo.
k) 1996: introdução das variedades de soja transgênicas resistentes ao glyphosate. Atualmente são várias as culturas que dispõem de variedades transgênicas resistentes a outros herbicidas como glufosinate, 2,4-D (em desenvolvimento) e dicamba (em desenvolvimento). Em 2011 a área total acumulada cultivada com culturas transgênicas alcançou um bilhão de hectares sendo que culturas resistentes a herbicidas foram utilizadas em 70% deste total. Em 15 anos (1996 a 2011) houve um aumento de 87 vezes na área cultivada com culturas transgênicas indicando que esta foi a tecnologia com mais rápida aceitação pelos produtores em toda a história da agricultura.
l) De 1995 aos dias atuais: desenvolvimento da agricultura de precisão a partir da evolução da eletrônica embarcada (nos equipamentos agrícolas) e dos sistemas de posicionamento globais (GPS).
m) Meados da década dos 60: observada a resistência de *Senécio vulgaris* a triazinas. Este é primeiro caso de resistência de plantas daninhas a herbicidas. Atualmente, há mais de 700 relatos de resistência e 300 combinações entre espécies e mecanismos de ação para as quais já se observou resistência em um ou mais locais.
n) 1996: primeiro relato de resistência ao glyphosate, observada em *Lolium rigidum*. Atualmente há mais de 20 espécies de plantas daninhas resistentes a este herbicida, colocando em risco a continuidade do seu uso.

o) 1962 até os dias atuais: a preocupação com a preservação e recuperação ambiental evolui continuamente, passando a permear todas as atividades humanas. O ano de 1962 foi selecionado como demarcador por corresponder ao ano em que Rachel Carson publicou o livro "Silent Spring" (Primavera Silenciosa), um importante marco inicial dos movimentos ambientalistas mundiais.

## *Futuro do manejo das plantas daninhas.*

Considerando o panorama apresentado, são feitas algumas projeções sobre o manejo de plantas daninhas no futuro. Para simplificar o entendimento, estas projeções foram agrupadas por tópicos e são apresentadas a seguir:

## *Desenvolvimento de Novos Herbicidas:*

O lançamento de novos produtos teve seu auge entre os anos de 1980 e 2000 com uma taxa média anual próxima de 6. Após este período a média global anual foi reduzida a 2,66. É bastante provável que esta tendência de redução do número de novos registros se mantenha no futuro. As prováveis justificativas para este comportamento são: a) a difusão das culturas transgênicas resistentes a herbicidas como glyphosate e glufosinate permitindo a estes herbicidas ocupar mercados de outros produtos que já eram comercializados ou que nem chegaram a ser desenvolvidos; b) aumento dos custos de registro de novas moléculas; c) elevação dos patamares de qualidade e segurança (para o ambiente e aplicadores) para os novos produtos; d) a redução dos custos para desenvolver e registrar novas linhagens transgênicas resistentes a herbicidas (atualmente é da ordem de 1/3 do custo de registro de um novo produto).

Conforme já citado nesse texto, as enzimas envolvidas na degradação de glufosinate, 2,4-D, dicamba e aryloxyphenoxy-propionatos (haloxyfop e outros) podem constituir novos sítios para a ação de compostos com capacidade de bloqueá-las. Seriam herbicidas especificamente desenvolvidos para a eliminação da resistência nas culturas geneticamente modificadas para suportar a aplicação dos mesmos.

## *Desenvolvimento de Tecnologias de Controle Fundamentadas na Expressão de Genes*

O rápido avanço da genética molecular pode viabilizar, no futuro, tecnologias inimagináveis nos dias atuais. Em termos de controle de plantas daninhas, o avanço das várias tecnologias para interferir na expressão de genes são as mais promissoras.

Todos os herbicidas desenvolvidos até o momento têm sua ação relacionada à ligação a proteínas (enzimas em sua maioria). Quando ocorre a ligação a enzimas, o efeito normalmente observado é a redução da atividade ou o completo bloqueio da atividade das mesmas.

Resultado similar poderia ser alcançado se o bloqueio ocorresse ao nível da expressão do gene responsável pela produção da enzima. Seria possível evitar a atividade de uma determinada enzima, tanto a inibindo diretamente (o que já é feito por muitos dos herbicidas) quanto evitando que houvesse a produção de unidades efetivas da mesma. Quais seriam as vantagens do uso de tecnologias que interferissem ao nível dos ácidos nucleicos alterando a expressão de genes a síntese de proteínas / enzimas?

A principal vantagem refere-se a um possível aumento dos níveis de seletividade. A cada três nucleotídeos (com quatro opções em termos de bases nitrogenadas), é codificado um aminoácido na sequencia proteica. Há um total de $4^3 = 64$ possibilidades em termos de nucleotídeos (ou bases nitrogenadas) para um conjunto de 20 aminoácidos. Muitas vezes um aminoácido corresponde a mais de uma trinca de bases. Em geral, alterações na última base da trinca não implicam em alteração do aminoácido na sequencia proteica. Como consequência, duas enzimas idênticas poderiam ser produzidas, mesmo que os RNAs que as originaram fossem distintos.

Também seria muito maior o número possível de combinações diferentes que poderiam suportar a atuação diferencial de novos "herbicidas" que teriam este tipo de ação. A cada quatro aminoácidos (ou uma sequencia de 12 nucleotídeos ou bases) o número de possibilidades seria ampliado em aproximadamente 105 vezes. Ainda, considerando quatro opções em termos de nucleotídeos ou bases nitrogenadas, há a possibilidade de constituir um total de 16.777.216 diferentes sequencias de apenas 12 unidades.

A interferência ao nível de ácidos nucleicos, sobretudo RNA, já vem sendo utilizada para fins médicos. As dificuldades para viabilizar o uso destas tecnologias no controle de plantas em condições comerciais são enormes, mas há a possibilidade de que venham a ser empregadas no futuro, o que certamente traria grandes benefícios para o manejo de plantas daninhas.

## *Uso de Compostos Naturais como Herbicidas:*

Compostos naturalmente produzidos têm sido a inspiração para a produção de novos inseticidas, fungicidas, herbicidas e fármacos. Em geral os compostos de ocorrência natural precisam sofrer algumas alterações para que possam alcançar os elevados padrões de eficácia, seletividade e segurança para que um novo defensivo possa ser desenvolvido e disponibilizado comercialmente. O mesotrione e o glufosinate são exemplos de herbicidas que derivam de compostos de ocorrência natural.

O uso de compostos exatamente como ocorrem naturalmente torna-se um desafio ainda maior se o objetivo for produzi-los também naturalmente. O composto natural mais bem estudado até o momento é o sorgoleone, produzido e excretado em pelos radiculares de sorgo. Existem projetos em andamento para aumentar a sua produção em condições de campo, com possível intensificação do controle de plantas daninhas. O uso comercial da tecnologia dependerá, também, de avaliações toxicológicas e ambientais.

## *Desenvolvimento de Novos Agentes de Controle Biológico:*

Em futuro próximo, há um grande potencial de uso do controle biológico fundamentado na técnica inoculativa. Os avanços recentes indicam que a produção de novos bioherbicidas fundamentados no uso de patógenos, principalmente, será algo muito importante no futuro graças à difusão e uso de técnicas de melhoramento genético de microrganismos, cada dia mais amparadas na genética molecular. As grandes limitações ao uso do controle biológico com bioherbicidas fundamentados em patógenos continuarão sendo as mesmas atuais: a) a necessidade de desenvolver formulações seguras para o agente de controle e que garantam a ação do bioherbicida em diferentes condições ambientais; b) o fato dos bioherbicidas fundamentados em fitopatógenos serem praticamente específicos tornando necessário o uso de vários produtos quando a comunidade de plantas daninhas for composta por diferentes espécies; c) dificuldade em garantir que os fitopatógenos empregados serão seguros para a própria cultura e para outras espécies vegetais; d) elevados custos envolvidos na obtenção das informações necessárias ao registro de novos produtos.

## *Desenvolvimento de Novas Variedades Resistentes a Herbicidas:*

Embora o uso de transgenia não seja obrigatório, os exemplos de maior sucesso em escala mundial utilizam esta abordagem (a produção de transgênicos). Destacam-se a resistência ao glyphosate e ao glufosinate, rapidamente incorporados à base genética de diversas culturas. Atualmente há vários projetos procurando expandir o uso dos genes de resistência já conhecidos em diferentes culturas e o desenvolvimento de novos genes de resistência. A principal alteração prevista para os próximos cinco anos é a combinação de genes de resistência a mais de um herbicida em uma mesma variedade. São exemplos de combinações que estarão em breve no mercado: resistência simultânea a glyphosate e glufosinate; resistência simultânea a dicamba e glyphosate; resistência simultânea a 2,4-D, haloxyfop (e outros aryloxyphenoxy-propionatos) e glyphosate. Inicialmente, as culturas beneficiadas pela incorporação da resistência a mais de um herbicida serão a soja, o milho e o algodão.

O desenvolvimento de culturas simultaneamente resistentes a mais de um herbicida (com espectros de controle complementares) é um grande avanço que em muito contribuirá para o manejo de plantas daninhas, sobretudo em áreas em que há a presença de biótipos resistentes a um dos herbicidas considerados. Contudo, se não for empregada da maneira correta, esta tecnologia poderá contribuir para intensificar o desenvolvimento de plantas daninhas simultaneamente resistentes a mais de um herbicida. É um grande desafio, para quem lida com o manejo de plantas daninhas, estabelecer os cuidados e estratégias para que as variedades resistentes a mais de um herbicida possam ser sustentavelmente utilizadas no futuro.

Também causa grande preocupação, a necessidade de contar com alternativas para o controle destas culturas, quando ocorrem como daninhas em culturas sucessão ou quando há a necessidade de manter o vazio sanitário para o manejo de pragas ou doenças. Neste aspecto, há uma nova oportunidade para as empresas que se dedicam ao desenvolvimento de herbicidas: seria muito relevante dispor de compostos que pudessem inibir a ação das enzimas envolvidas na degradação de herbicidas como o glufosinate, dicamba, 2,4-D e haloxyfop nas variedades transgênicas tolerantes aos mesmos. A resistência da cultura poderia ser quimicamente removida, facilitando o seu controle. No caso do glyphosate esta possibilidade não existe, pois a resistência está associada à modificação do sítio de ação e não à degradação do herbicida.

## *Desenvolvimento de Variedades Transgênicas Adaptadas ao Ambiente e Tolerantes a Estresses Bióticos e Abióticos:*

Nos próximos dez anos, estão previstos lançamentos de variedades transgênicas mais tolerantes ao estresse hídrico, com maior tolerância a temperaturas altas ou baixas, com maior absorção ou menor necessidade de nutrientes, menos sensíveis a pragas e doenças, com maior velocidade de crescimento e mais produtivas, por exemplo. Certamente estas características permitirão o menor uso de insumos que podem beneficiar também as plantas daninhas (exemplos: fertilizantes, inseticidas e fungicidas) e aumentarão a velocidade de ocupação do ambiente por parte da cultura, limitando, de modo mais precoce, o crescimento das plantas daninhas. Este aspecto é altamente relevante se considerarmos que o principal agente de controle de plantas daninhas em áreas agrícolas é a própria cultura.

## *Melhor Uso das Coberturas de Solo*

A cobertura do solo com resíduos de culturas anteriores tem contribuído muito para o manejo de plantas daninhas em culturas anuais e perenes. Esta prática promove grandes benefícios ambientais por reduzir a erosão. O controle da erosão é fundamental para reduzir a contaminação, de origem agrícola, de coleções superficiais de águas (rios e lagos). O processo erosivo pode carregar grandes quantidades de solo com altos teores de nutrientes e contaminados com defensivos para dentro de rios e lagos. Muito pouco tem sido feito para compreender a interferência das palhadas na dinâmica de herbicidas e de populações de plantas daninhas. Provavelmente estarão disponíveis, em médio e longo prazo, tecnologias de várias naturezas que permitirão estender o período de permanência de palhadas sobre o solo, aumentando o potencial de controle de plantas daninhas e facilitando o uso do plantio direto em regiões tropicais.

## *Evolução das Tecnologias Fundamentadas na Agricultura de Precisão:*

Um grande avanço já ocorreu nos últimos 15 anos, mas em futuro próximo, serão incorporados todos os avanços referentes a sistemas sensores, sobretudo o imageamento de alta resolução espacial, espectral e temporal, de baixo custo. Atualmente, os sistemas de imageamento apresentam uma ou outra destas quatro características e raramente combinam duas delas. Nos próximos 10 a 15 anos provavelmente estarão disponíveis sistemas sensores que combinem estes quatro atributos permitindo, efetivamente, a criação de mapas de infestação de alta precisão e atualidade. Possivelmente as imagens e mapas poderão ser obtidos em fluxo contínuo até mesmo utilizando os próprios sistemas de aplicação (no caso de herbicidas) ou de controle (quando forem utilizadas outras técnicas).

O uso de sistemas mais eficazes para distribuir sementes, fertilizantes e outros insumos também pode levar ao crescimento mais rápido e uniforme da cultura, reduzindo a dependência do uso de herbicidas e outras práticas de controle de plantas daninhas.

Em termos de equipamentos de aplicação, pode-se dizer que o futuro já chegou. Já dispomos de equipamentos que, por exemplo, aplicam em taxas variáveis; que promovem a injeção dos herbicidas apenas na barra de aplicação; que permitem alterar as características da aplicação em função das condições ambientais ou que avaliam o nível de infestação e decidem pela aplicação ou não do herbicida. Hoje, esta avaliação é feita de modo global em função da reflexão de luz pela clorofila; em prazo médio a longo, será possível identificar as espécies pontualmente presentes e determinar sobre qual produto ou dose aplicar.

## *Evolução da Tecnologia de Aplicação e Segurança Ambiental:*

Houve avanços notáveis em termos de qualidade de aplicação nas últimas décadas, mas ainda há alguns avanços fundamentais para que as aplicações de herbicidas possam ser efetivamente consideradas seguras do ponto de vista ambiental: a) reduzir o uso de herbicidas e adjuvantes de alta toxicidade, alta volatilidade, alta persistência, tóxicos para espécies não alvo e com elevada probabilidade de contaminar coleções de água superficiais ou subterrâneas; b) tornar as aplicações mais eficazes reduzindo o consumo de herbicidas; c) reduzir as perdas por deriva, que podem chegar a 52% em aplicações comerciais de herbicidas; d) reduzir o consumo de água nas aplicações. Em grande parte, todos estes objetivos já podem ser alcançados apenas pela aplicação do conhecimento e das tecnologias já disponíveis. O aumento das pressões para o uso de sistemas de produção sustentáveis certamente tornará obrigatório alcançá-los em futuro bastante próximo.

## *Outras Práticas de Controle:*

O controle de plantas daninhas pode ser feito também com o uso de eletricidade, fogo (gerado pela queima de gases inflamáveis), solarização (uso de plásticos transparentes para aquecer o solo), aplicação de vapor, revestimento do solo com materiais impermeáveis ou semipermeáveis, uso de luz ultravioleta, aquecimento do solo ou das plantas com microondas (promovendo a morte de sementes ou plantas). Algumas destas técnicas podem alcançar elevados níveis de eficácia, mas, em geral, demandam elevadas quantidades de energia, combustíveis e outras matérias primas utilizadas na obtenção dos materiais necessários (plásticos, por exemplo). Algumas destas técnicas de controle são até mais antigas do que os próprios herbicidas sendo possível prever, a partir do uso limitado na atualidade, que a evolução do uso das mesmas será pouco expressiva no futuro próximo.

## *Efeitos das Mudanças Climáticas Globais*

O aumento das concentrações de $CO_2$, a elevação da temperatura e a alteração dos regimes hídricos alterará significativamente o potencial de crescimento das plantas cultivadas e também das plantas daninhas. O aumento das concentrações de $CO_2$ pode aumentar drasticamente a eficiência fotossintética e a eficiência no uso de água de plantas $C_3$; os efeitos em plantas $C_4$ são menos evidentes. Por outro lado, a elevação das temperaturas nos locais em que se pratica a agricultura tende a beneficiar mais intensamente as plantas $C_4$.

Ainda é cedo para prever, com um mínimo de precisão, como as alterações climáticas e as mudanças nas concentrações de gases na atmosfera afetarão as relações plantas daninhas / culturas. Mas é certo que mudanças importantes ocorrerão.

## *Intensificação do Uso e Maior Compreensão do Manejo Integrado de Plantas Daninhas*

O manejo integrado consiste em adotar e integrar os vários métodos de controle, de maneira segura para a cultura e para o ambiente, com o objetivo de manter as populações alvo, abaixo do nível de dano econômico.

No caso de plantas daninhas o nível de dano econômico normalmente está associado à quantidade de biomassa acumulada por unidade de área e não ao número de indivíduos. Destacamos, a seguir, uma série de técnicas que são fundamentais para o manejo integrado de plantas daninhas que serão beneficiadas pelo desenvolvimento e aprimoramento de novas tecnologias no futuro:

a) Correta identificação das "espécies" alvo. A identificação poderá ser feita ao nível de biótipos, com o desenvolvimento de novos procedimentos fundamentados em genética molecular, por exemplo.
b) Planejamento das ações, a realização do que foi planejado e a avaliação dos resultados. Tem se intensificado a obtenção, articulação e aplicação das informações e do conhecimento de caráter local na elaboração de programas de manejo integrado de plantas daninhas. Desafio maior do que a obtenção das informações é criar os procedimentos que permitam o seu uso, principalmente em grandes unidades de produção. A evolução das tecnologias voltadas ao tratamento de banco de dados promoverá avanços significativos neste aspecto.
c) Tomada de decisões fundamentadas em informações e no conhecimento.
d) Aumento e preservação da capacidade de controle da cultura e do meio (incluindo a cobertura do solo), conforme já foi discutido.
e) Desenvolvimento de novas ferramentas de controle (exemplos: controle biológico e herbicidas naturais).
f) Uso de métodos de controle seguros para a cultura e para o ambiente;
g) Combinação de diferentes práticas de controle, com níveis de eficácia individualmente maximizados, reduzindo a dependência em relação a cada uma delas e evitando (ou retardando) o desenvolvimento de biótipos resistentes.
h) Manutenção das densidades populacionais em níveis manejáveis. Este cuidado será simplificado com o uso de novas técnicas para o mapeamento da ocorrência de plantas daninhas (possivelmente ao nível e espécie ou de biótipos).
i) Evitar o aumento da diversidade genética das comunidades de plantas daninhas evitando a seleção ou introdução de espécies ou genótipos de difícil controle, com destaque para os biótipos resistentes a herbicidas.
j) Considerar os efeitos imediatos dos métodos de controle e, também, os seus efeitos ao longo de ciclos de produção.
k) Melhorar as técnicas de aplicação de herbicidas, aumentando a eficácia e a segurança destes produtos.

O manejo de plantas daninhas é uma atividade altamente complexa, sem espaço para o improviso. Demanda pessoal qualificado tanto para a tomada de decisões quanto para a realização das operações, sob o risco de ocorrerem problemas ambientais e contaminação de produtores e consumidores, além de possíveis reduções de crescimento, produtividade e lucratividade das culturas. O desenvolvimento de novas tecnologias certamente contribuirá para que estes problemas sejam evitados.

## Bibliografia


*Anderson, W. P.* ***Weed science: principles.*** *New York: West Publishing, 1977. 598 p .*

*Appleby, A.P. (2005)* ***A History of Weed Control in the United States and Canada*** *– a Sequel. Weed Science: November 2005, Vol. 53, No. 6, pp. 762-768.*

*Klingman, G.C. and Ashton, F.M., 1975. Weed Science:* ***Principles and Practices.*** *Wiley, New York, 431 pp.*

*Timmons, F.L. (2005)* ***A History of Weed Control in the United States and Canada.*** *Weed Science: November 2005, Vol. 53, No. 6, pp. 748-761.*

# *Herbicide Resistance in the Americas – Status and Best Management Practices*

Mark A. Peterson, Dow AgroSciences LLC, Indianapolis, IN, USA 46268

**Key words: herbicide, resistance, glyphosate, best management practices**

## *Introduction*

Since the beginnings of crop production thousands of years ago, weeds have adapted to practices adopted by humans to remove these undesirable plants from fields. One of the first examples was the phenological adaptation in China of weedy rice species to appear more like cultivated rice plants in order to avoid being hand weeded (Burgos and Lawton-Rauh 2011). Since that time, farmers have employed a wide range of weed control methods and all have been challenged by natural selection and adaptation of weeds. Today this problem has received greater attention than ever as technologies are rapidly adopted across wide areas of the globe in order to increase food production in concert with a rapidly growing population. Glyphosate-tolerant cropping systems are a primary example of this phenomenon. Since their introduction in the mid 1990's, glyphosate-tolerant crops have reached a level of use that is unprecedented in its rapidity of adoption and scope. The advantages of the glyphosate system are clear. These include reduced soil erosion, improved water quality, reduced fuel consumption, reduced carbon emissions, improved efficiency, and improved grower profitability (Cerdeira, et al 2011, NRC/NAS 2010). However, these clear advantages have led to a widespread adoption and dependence on glyphosate-tolerant crops and in turn resulted in a rapidly growing problem with glyphosate-resistant weeds (Table 1).

Table 1. Glyphosate-resistant weed species by region as reported in the International Survey of Herbicide Resistant Weeds (www.weedscience.org), 2012.

| ***Brazil*** | ***Argentina*** <br> ***Chile*** <br> ***Paraguay*** | ***Columbia*** | ***USA*** <br> ***Canada*** |
|---|---|---|---|
| *Conyza boneriensis* | *Cydon hirsutus* | *Conyaza boneriensis* | *Amaranthus palmeri* |
| *Conyza canadensis* | *Echinochloa colona* | *Eleusine indica* | *Amaranthus tuberculatus* |
| *Conyza sumatrensis* | *Lolium multiflorum* | | *Ambrosia artemisiifolia* |
| *Digitaria insularis* | *Lolium perenne* | | *Ambrosia trifida* |
| *Lolium multiflorum* | *Sorghum halepense* | | *Conyza boneriensis* |
| | *Digitaria insularis* | | *Conyza canadensis* |
| | | | *Kochia scoparia* |
| | | | *Eleusihe indica* |
| | | | *Lolium rigidum* |
| | | | *Poa annua* |
| | | | *Sorghum halepense* |

## Extent of the problem

While there is general agreement that the problem of herbicide resistant weeds is widespread and growing, the true extent of the problem is difficult to assess (Heap, 2012). Growers often attribute the failure of a given herbicide application to resistance even though poor performance can be the result of many other factors. Even at sites where resistance is confirmed by professionals, accurate information on the actual area infested is lacking. The only reliable method of estimation is systematic sampling and greenhouse comparison to known susceptible populations or molecular analysis (when practical). This method is difficult and costly, and rarely done for that reason.

Nonetheless, analysis of the problem, discussion of solutions, and projections for the future require some way to estimate the scope of the problem. Surveys of a large number of US growers have been conducted to estimate the infestations of key herbicide-resistant weed species (Prince et al 2012, proprietary market research). While imperfect, this provides some basis to work from. Estimates from these surveys place glyphosate-resistant weed infestation levels at anywhere from 10 to 40% of U.S. corn (*Zea mays*), soybean (*Glycine max*), and cotton (*Gossypium hirsutum*) hectares. This infestation has been increasing at an estimated rate of 20 to 30 percent per year. The most common glyphosate-resistant species in North America come from the genus *Amaranthus* followed by *Conyza*, and *Ambrosia*. If this rate of increase continues unchecked, in theory 100% of U.S. crop hectares would be infested with glyphosate resistant weeds in less than 7 years.

Further, an increasing number of weed populations are exhibiting resistance to more than one mode of action. The International Survey of Resistant Weeds (www.weedscience.org) indicates that 6 weed species in Brazil and 14 in the United States have developed resistance to multiple herbicides. Many of these multiple-resistant species have resistance to glyphosate. In 2010, the University of Illinois analyzed samples of *Amaranthus tuberculatus* from 24 fields with suspected glyphosate resistance (Tranel, et al. 2012). Approximately 29% of those fields had populations of *Amaranthus* that were resistant to both glyphosate and ALS herbicides. An additional 29% of those fields contained populations resistant to glyphosate, ALS, and PPO herbicides.

## Grower Response to Herbicide Resistant Weeds

In many ways, grower response to herbicide resistance problems resembles a typical human response to any unpleasant situation with the first stage usually being "denial". The grower feels that the problem will affect others but not him or that if he experiences the problem that new technologies will be readily available to solve the issue. In this fashion, growers can justify continued use of practices that are unsustainable. In the case of glyphosate, many growers simply increase the application rate when confronted with decreasing effectiveness. In Brazil, the average amount of glyphosate applied per hectare has approximately doubled over the past 5 years (Adegas 2011). A similar trend has occurred in the US and other areas where glyphosate-tolerant crops are utilized. While not all of this increase can be attributed to resistant or tolerant weeds, it is an indication that growers are needing to apply more glyphosate to achieve desired results. In the absence of other changes in weed control practice, increasing rates do nothing to address the long-term problem. As a next step, growers will usually try to employ other herbicides either in sequence, in mixture, or in substitution for their glyphosate program.

One of the last options employed by U.S. growers in response to resistance is tillage. The advent of the glyphosate tolerant cropping system has allowed growers to reduce tillage substantially. This has decreased labor and fuel requirements and reduced soil erosion. Widespread infestations of glyphosate-resistant weeds now pose a threat to conservation tillage (Price, et al 2011). Many producers have expanded the size of their farming operations and many do not have the ability to perform multiple tillage operations for weed control due to limited access to labor and equipment needed to cover large areas in a timely fashion.

## Proactive Management of Resistance

Recommendations for proactively managing resistance have long been in place. The recent increase in resistance issues have resulted in renewed efforts to education growers on best management practices.

Recent publications (Norsworthy et al 2012) and educational modules produced by the Weed Science Society of America (www.wssa.net) emphasize the following best management practices:

01- Understand the biology of the weeds present.
02 - Use a diversified approach to weed management focused on reducing the number of weed seed in the soil seedbank.
03 - Plant into weed-free fields and then keep fields as weed free as possible.
04 - Plant weed-free crop seed.
05 - Scout fields routinely.
06 - Use multiple herbicide mechanisms of action that are effective against the most troublesome or herbicide-resistance-prone weeds.
07 - Apply the labeled herbicide dose at recommended weed sizes.
08 - Emphasize cultural practices that suppress weeds by utilizing crop productivity and competitiveness.
09 - Use cover crops or synthetic mulches for physical suppression of weeds where appropriate.
10 - Use mechanical and biological management practices where appropriate.
11 - Prevent weed seed production.
12 - Prevent field-to-field and within-field movement of weed seed or vegetative propagules.
13 - Manage weed seed at harvest and post-harvest to prevent a buildup of the weed seedbank.
14 - Prevent an influx of weeds into the field by managing field borders.

## *Barriers to Adoption of Best Management Practices*

While a large majority of U.S. growers express concerns about glyphosate resistance weeds, many are still reluctant to change their weed management and production practices to address the problem before it occurs. The commonly employed resistance management practices are those that growers find easiest to implement. While 70-80% of growers who plant glyphosate-tolerant crops in the U.S. apply residual burn-down herbicides or use preplant tillage, only about 25% use any kind of in-crop tillage between the rows. A very high proportion, approximately 90%, plant seed that is certified to be free of weed seed and use the recommended rate of herbicide. Unfortunately, most do not clean tillage or harvesting equipment when moving from field to field, thus spreading weed problems over their entire operation.

Application of residual herbicides at or shortly before planting provides additional modes of action that complement postemergence glyphosate treatments. While a growing percentage of US growers utilize soil residual herbicides, there is still a significant proportion that do not. According to private market research, in 2010 over 50% of the glyphosate-tolerant crops in the US received a soil residual herbicide around planting, mostly in corn and cotton and less so in soybeans. Fewer growers apply combinations of other herbicides with postemergence glyphosate. Slightly over 50% of the glyphosate-tolerant crop area received just glyphosate postemergence. When combined, the use of alternative MOA herbicides on glyphosate-tolerant crops, either preemergence or postemergence, is approximately 90% for corn, 70% for cotton, and 56% for soybeans.

## *Projections for the Future*

New herbicide modes of action are unlikely to be available in the near future (Gerwick 2010). Therefore, preservation of existing herbicides is critical. Predictions about the future development of herbicide resistance on a macro basis are difficult to make and are somewhat a matter of opinion. However, if one assumes no change in grower behavior or the rate of increase in glyphosate resistance, it is possible that a large portion of the crop area in the Americas will be infested with glyphosate-resistant weeds before the end of the present decade. Alternatively, if new technologies become available soon and growers adopt best management practices, it may be possible to preserve some of the value of the glyphosate-tolerant cropping system and the utility of herbicides in general.

In any case, the successful management of herbicide resistance will require a cooperative approach between scientists, industry, and growers. Recommendations to address the problem must be based on sound science, supported by company policies, and be practical for growers to implement.

## References


ADEGAS, F.S. **Transgenic soybean resistant to glyphosate as a tool for sustainable production and weed management: the accumulated experience from laboratory to farm.** Proceedings, 3rd International Glyphosate Symposium.

BURGOS, N.R. and LAWTON-RAUH, A. **Weed control tactics and weed population dynamics.** Proceedings, Weed Science Society of America, Vol. 51, 2011, www.wssa.net.

CERDEIRA, A.L.; GAZZIERO, D.L.P.; DUKE, S.O.; MATALLO, M.B. **Agricultural Impacts of Glyphosate-Resistant Soybean Cultivation in South America.** J. Agric. Food Chem. 59(11):5799-5807, 2011.

GERWICK, B. C. **Thirty Years of Herbicide Discovery: Surveying the Past and Contemplating the Future.** Agrow (Silver Jubilee Edition) Informa: London. Pp. VII–IX, 2010.

HEAP, IAN. **How researchers estimate the area of herbicide-resistant weed infestations.** www.weedscience.org, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) / NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (NAS). **The Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States.** The National Academies Press. Washington, DC, 2010.

NORSWORTHY, J.K.; WARD, S.; SHAW, D.; LLEWELLYN, R.; NICHOLS, R.; WEBSTER, T.; BRADLEY, K.; FRISVOLD, G.; POWLES, S.; BURGOS, N.; WITT, W.; BARRETT, M. **Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations.** Weed Science 2012 (In-Press), www.wssa.net.

PRICE, A.J.; BALKCOM, K.S.; CULPEPPER, S.A.; KELTON, J.A.; NICHOLS, R.L.; SCHOMBERG, H. **Glyphosate-resistant Palmer amaranth: A threat to conservation tillage.** Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 66, No. 4, 265:275, 2011.

PRINCE, J.M.; SHAW, D.R.; GIVENS, W.A.; OWEN, M.D.K.; WELLER, S.C.; YOUNG, B.G. **Benchmark Study: I. Introduction, Weed Population and Management Trends from the Benchmark Survey 2010.** Weed Technology (ahead of print), www.wssa.net. 2012

TRANEL, P.; RIGGINS, C.; HAGER, A. **The evolution of multiple resistant weeds.** Proceedings of the Weed Science Society of America, Vol 52, 2012, www.wssa.net.

# The Use of Biotechnology in Weed Science

Todd Gaines,
**University of Western Australia**

The most notable application of biotechnology in weed science has been the development and successful commercialization of herbicide resistant crops. Various single genes conferring resistance to non-selective herbicides have been identified, ranging from mutations in target site genes, different isoforms of target site genes from bacteria, and genes for herbicide metabolism from bacteria (Tan et al., 2006). These genes have been inserted into crop species and have been in widespread use globally since 1995. In addition to herbicide resistant crops, biotechnology has many other uses in weed science research, some of which have now been utilized and others with great future potential. This paper will review research highlights in weed science research related to biotechnology, in particular genomics and molecular biology, and offer recommendations for future uses of biotechnology in weed science.

A major area of research related to herbicide-resistant crops has been assessing the risk of pollen-mediated gene flow to related weed species and to neighboring fields of the same crop. The perceived risk is that a weed could become resistant to a herbicide by this mechanism. Crop to crop gene flow has been studied under commercial conditions in Australian canola (Brassica napus) (Rieger et al., 2002), and in US Central Great Plains bread wheat (Triticum aestivum) (Gaines et al., 2007). Hybridization between wheat and Aegilops cylindrica has been shown to occur in the US Central Great Plains and in the US Pacific Northwest, and backcrosses have been shown to form a bridge for gene transfer from wheat to jointed goatgrass (Gaines et al., 2008; Gandhi et al., 2006; Hanson et al., 2005; Morrison et al., 2002a; Morrison et al., 2002b; Perez-Jones et al., 2006; Zemetra et al., 1998). An effective use of molecular biology in the area of gene flow, and also for gene flow between weed populations, has been sequence analysis to confirm hybrids at the molecular level. Such tools have been applied to studies of hybridization in Lolium rigidum (Busi et al., 2008; Busi et al., 2011), Amaranthus species (Franssen et al., 2001; Gaines et al., 2012; Trucco et al., 2005; Trucco et al., 2009; Wassom & Tranel, 2005; Wetzel et al., 1999), and between bread wheat and Aegilops cylindrica (Gaines et al., 2008; Gandhi et al., 2006; Perez-Jones et al., 2006).

Herbicide resistance due to target site mutations can be rapidly and economically genotyped using several different methods. Specific mutations in herbicide target site genes can be genotyped in a very high throughput fashion using pyrosequencing, a PCR-based technique with real-time detection of base pair addition known as sequencing by synthesis (Petersen et al., 2010). Another technique known as derived cleaved amplified polymorphic sequence (dCAPS) has been developed and is useful for genotyping known target site mutations (Kaundun & Windass, 2006). Such assays can be developed for any single point mutation of interest; for example, once non-target site resistance (NTSR) genes are characterized, such assays could also be developed to rapidly diagnose weed populations for NTSR.

Another use of biotechnology in weed science research is cell culture. Cell culture of Chlamydomonas reinhardtii (algae) has been used to study herbicide resistance evolution (Lagator et al., 2012). This study system offers great promise to provide further insights into the early stages of resistance evolution. Cell culture has also been used to select for and identify herbicide resistance with the goal of producing herbicide-resistant crops, mostly for glyphosate resistance (e.g., Murata et al., 1998; Papanikou et al., 2004; Widholm et al., 2001), although no commercial crops have yet resulted from these approaches.

Gene expression studies provide excellent insight into the molecular basis of many phenotypes. Technologies now available for studying gene expression range include quantitative real-time PCR on cDNA,

microarrays, and RNA-sequencing using available high-throughput sequencing technology (Lister et al., 2009a). Increased EPSPS gene expression due to amplification of the EPSPS gene has been measured in glyphosate-resistant Amaranthus palmeri, first by genomic DNA Southern blots and then by quantitative PCR on genomic DNA and cDNA (Gaines et al., 2010). Many applications of microarrays have been used in weed science research. Microarrays can be used to study the mode of action of new herbicides with unknown modes of action, by first building a library of gene expression responses with known modes of action, and then comparing with the unknown mode of action gene expression (Duke, 2012). Herbicide resistance mechanisms due to changes in gene expression can also be studied using microarrays, either with available microarrays from model species for heterologous hybridization, or with custom-developed microarrays. Arabidopsis microarrays have been used to study glyphosate resistance in Conyza canadensis (Yuan et al., 2010). Custom-developed microarrays from ESTs have been used to study multiple biological traits in Euphorbia esula, including dormancy regulation and stress responses (e.g., Anderson et al., 2007; Dogramaci et al., 2010; Foley et al., 2010; Foley et al., 2012; Horvath et al., 2008), and candidate genes have been evaluated for biological effect in the model plant Arabidopsis (Horvath et al., 2010). Partial sequences have been obtained of the Conyza canadensis transcriptome (Peng et al., 2010) and the Amaranthus tuberculatus genome and transcriptome (Lee et al., 2009; Riggins et al., 2010) using Roche 454 pyrosequencing technology; these studies represent significant advances in weed science genomics and will provide valuable resources for future research.

The newest technology for studying gene expression uses available next-generation sequencing platforms, including Roche 454, Illumina, SOLiD, and PacBio, to sequence RNA from populations of interest (Lister et al., 2009a). The different platforms have different advantages, which should be considered when designing a sequencing experiment. Platforms with longer base pair reads (e.g., Roche 454) have advantages for developing a reference sequence, and platforms with shorter base pair reads (e.g., Illumina) have advantages for quantifying gene expression. Additionally, proper experimental design is critical for successful differential expression experiments, including adequate biological replication and population structure. Complex genomes can now be sequenced de novo, such as the 2.25 gigabase Giant Panda (Ailuropoda melanoleuca) genome sequenced using only Illumina short reads (Li et al., 2010). Experimental design is also critical to successfully assemble a de novo genome; in the case of the Giant Panda genome, the research team used paired-end reads on inserts with five different sizes to build scaffolds for the assembly, rather than only sequencing one insert size (Li et al., 2010). This approach enabled a rapid and good quality initial assembly with only de novo sequencing, and without requiring genomic libraries. In addition to the nucleotide sequence of the genome, it is now also possible to identify genome-wide patterns of methylation in the DNA, critical for understanding gene regulation due to changes in the epigenome (Lister et al., 2009b). Both de novo genome sequencing and epigenome sequencing will certainly have useful applications in weed science. The costs for next-generation sequencing are rapidly decreasing, and in the future genomics research will be used in weed science to study both herbicide resistance evolution along with weediness and invasiveness traits (Stewart et al., 2009; Tranel & Horvath, 2009).

Another technique using high-throughput sequencing technology is known as deep sequencing, in which alleles of a gene of interest are first amplified from many individuals and/or populations, and then sequenced (e.g., with Illumina technology) to identify rare sequence polymorphisms (mutations) (Lister et al., 2009a). This approach is useful to identify rare alleles that may be of interest for industrial purposes, such as new herbicide resistance traits, or for identifying important adaptive alleles. For example, herbicide detoxification genes including cytochrome P450 or glutathione-S-transferase genes from many biological sources could be deep sequenced to identify previously unknown variants, followed by cloning and expression to identify useful alleles. A further technique that has successfully been applied to develop glyphosate metabolism in crops is known as directed evolution (Castle et al., 2004). This involves taking the sequences of a gene from diverse sources, shuffling the different alleles to develop new combinations, and then screening in a high-throughput fashion to identify more effective variants. This procedure can continue until a novel version of a gene is optimized; it requires the ability to conduct very high-throughput screening of enzyme activity, and to clone and express the gene of interest (Johannes & Zhao, 2006).

The future of biotechnology research in weed science holds many exciting possibilities. Improved understanding of the molecular basis of herbicide resistance mechanisms will allow the development of new, more precise diagnostic tools, enabling faster and better informed recommendations for identifying and managing herbicide resistant weed populations. Various sequencing techniques can be used to study weediness traits and improve our understanding of the biology of weeds, and to identify new mode of action targets. The potential exists to use genomics-level understanding to develop new weed control technology and approaches with new molecular targets, and to design custom inhibitors to interfere with specific plant molecular processes, including gene expression regulation (Duke, 2012). Plant defense mechanisms could be repressed, and compounds designed to interfere with herbicide resistance mechanisms could be developed. To complement weed control technology, crops could be developed with greater competitive ability and/or the ability to produce allelopathic compounds to interfere with competing weeds.

With greater understanding from basic research, the traits and genes underlying weediness and invasiveness can be explored (Stewart et al., 2009; Tranel & Horvath, 2009). In addition to specific genes, weed scientists can investigate the involvement of gene expression regulation mechanisms including transposable elements and modifications to the epigenome, such as DNA methylation and histone modification. Advances in plant genomics have shed light on adaptive evolution, including periods of rapid adaptation such as crop domestication, and this information can help weed science studies characterize why weeds are invasive, competitive, and highly fecund. As the cost of sequencing continues to fall, the weed science research community may wish to develop genomics resources for several important species (Stewart et al., 2009). Initial approaches can include sequencing expressed genes in transcriptomes and developing genetic maps for key weed species.

## References

*Anderson JV, Horvath DP, Chao WS et al. (2007)* ***Characterization of an EST database for the perennial weed leafy spurge: An important resource for weed biology research.*** *Weed Science 55, 193-203.*

*Busi R, Yu Q, Barrett-Lennard R & Powles S (2008)* ***Long distance pollen-mediated flow of herbicide resistance genes in Lolium rigidum.*** *Theoretical and Applied Genetics 117, 1281-1290.*

*Busi R, Michel S, Powles SB & Delye C (2011)* ***Gene flow increases the initial frequency of herbicide resistance alleles in unselected Lolium rigidum populations.*** *Agriculture Ecosystems & Environment 142, 403-409.*

*Castle LA, Siehl DL, Gorton R et al. (2004)* ***Discovery and directed evolution of a glyphosate tolerance gene.*** *Science 304, 1151-1154.*

*Dogramaci M, Horvath DP, Chao WS, Foley ME, Christoffers MJ & Anderson JV (2010)* ***Low temperatures impact dormancy status, flowering competence, and transcript profiles in crown buds of leafy spurge.*** *Plant Molecular Biology 73, 207-226.*

*Duke SO (2012)* ***Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?*** *Pest Management Science 68, 505-512.*

*Foley ME, Anderson JV, Chao WS,* ***Dogramaci M & Horvath DP (2010) Initial changes in the transcriptome of Euphorbia esula seeds induced to germinate with a combination of constant and diurnal alternating temperatures.*** *Plant Molecular Biology 73, 131-142.*

*Foley ME, Chao WS, Dogramaci M, Horvath DP & Anderson JV (2012)* ***Changes in the transcriptome of dry leafy spurge (Euphorbia esula) seeds imbibed at a constant and alternating temperature.*** *Weed Science 60, 48-56.*

*Franssen AS, Skinner DZ, Al-Khatib K, Horak MJ & Kulakow PA (2001)* ***Interspecific hybridization and gene flow of ALS resistance in Amaranthus species.*** *Weed Science 49, 598-606.*

*Gaines TA, Henry WB, Byrne PF, Westra P, Nissen SJ & Shaner DL (2008)* ***Jointed goatgrass (Aegilops cylindrica) by imidazolinone-resistant wheat hybridization under field conditions.*** *Weed Science 56, 32-36.*

*Gaines TA, Ward SM, Bukun B, Preston C, Leach JE & Westra P (2012)* ***Interspecific hybridization transfers a previously unknown glyphosate resistance mechanism in Amaranthus species.*** *Evolutionary Applications 5, 29-38.*

*Gaines TA, Byrne PF, Westra P et al. (2007) An empirically derived model of field-scale gene flow in winter wheat. Crop Science 47, 2308-2316.*

*Gaines TA, Zhang W, Wang D et al. (2010)* ***Gene amplification confers glyphosate resistance in Amaranthus palmeri.*** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 107, 1029-1034.*

*Gandhi HT, Mallory-Smith CA, Watson CJW, Vales MI, Zemetra RS & Riera-Lizarazu O (2006)* ***Hybridization between wheat and jointed goatgrass (Aegilops cylindrica) under field conditions.*** *Weed Science 54, 1073-1079.*

*Hanson BD, Mallory-Smith CA, Price WJ, Shafii B, Thill DC & Zemetra RS (2005)* ***Interspecific hybridization: Potential for movement of herbicide resistance from wheat to jointed goatgrass (Aegilops cylindrica).*** *Weed Tech. 19, 674-682.*

*Horvath DP, Chao WS, Suttle JC, Thimmapuram J & Anderson JV (2008)* ***Transcriptome analysis identifies novel responses and potential regulatory genes involved in seasonal dormancy transitions of leafy spurge (Euphorbia esula L.).*** *Bmc Genomics 9.*

*Horvath DP, Sung S, Kim D, Chao W & Anderson J (2010)* ***Characterization, expression and function of DORMANCY ASSOCIATED MADS-BOX genes from leafy spurge.*** *Plant Molecular Biology 73, 169-179.*

*Johannes TW & Zhao HM (2006)* ***Directed evolution of enzymes and biosynthetic pathways.*** *Current Opinion in Microbiology 9, 261-267.*

*Kaundun SS & Windass JD (2006)* ***Derived cleaved amplified polymorphic sequence, a simple method to detect a key point mutation conferring acetyl CoA carboxylase inhibitor herbicide resistance in grass weeds.*** *Weed Research 46, 34-39.*

*Lagator M, Vogwill T, Colegrave N & Neve P (2012)* ***Herbicide cycling has diverse effects on evolution of resistance in Chlamydomonas reinhardtii.*** *Evolutionary Applications DOI, 10.1111/j.1752-4571.2012.00276.x.*

*Lee RM, Thimmapuram J, Thinglum KA et al. (2009)* ***Sampling the waterhemp (Amaranthus tuberculatus) genome using pyrosequencing technology.*** *Weed Science 57, 463-469.*

*Li R, Fan W, Tian G et al. (2010)* ***The sequence and de novo assembly of the giant panda genome.*** *Nature 463, 311-317.*

*Lister R, Gregory BD & Ecker JR (2009a)* ***Next is now: new technologies for sequencing of genomes, transcriptomes, and beyond.*** *Current Opinion in Plant Biology 12, 107-118.*

*Lister R, Pelizzola M, Dowen RH et al. (2009b)* ***Human DNA methylomes at base resolution show widespread epigenomic differences.*** *Nature 462, 315-322.*

*Morrison LA, Cremieux LC & Mallory-Smith CA (2002a)* ***Infestations of jointed goatgrass (Aegilops cylindrica) and its hybrids with wheat in Oregon wheat fields.*** *Weed Science 50, 737-747.*

*Morrison LA, Riera-Liazrazu O, Cremieux L & Mallory-Smith CA (2002b) Jointed goatgrass (Aegilops cylindrica Host) x* ***wheat (Triticum aestivum L.) hybrids: Hybridization dynamics in Oregon wheat fields.*** *Crop Science 42, 1863-1872.*

*Murata M, Ryu JH, Caretto S, Rao D, Song HS & Widholm JM (1998)* ***Stability and culture medium limitations of gene amplification in glyphosate resistant carrot cell lines.*** *Journal of Plant Physiology 152, 112-117.*

*Papanikou E, Brotherton JE & Widholm JM (2004)* ***Length of time in tissue culture can affect the selected glyphosate resistance mechanism.*** *Planta 218, 589-598.*

*Peng Y, Abercrombie LLG, Yuan JS et al. (2010)* ***Characterization of the horseweed (Conyza canadensis) transcriptome using GS-FLX 454 pyrosequencing and its application for expression analysis of candidate non-target herbicide resistance genes.*** *Pest Management Science 66, 1053-1062.*

*Perez-Jones A, Mallory-Smith CA, Hansen JL & Zemetra RS (2006)* ***Introgression of an imidazolinone-resistance gene from winter wheat (Triticum aestivum L.) into jointed goatgrass (Aegilops cylindrica Host).*** *Theoretical and Applied Genetics 114, 177-186.*

*Petersen J, Dresbach-Runkel M & Wagner J (2010) A* ***method to determine the pollen-mediated spread of target-site resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in black grass (Alopecurus myosuroides Huds.).*** *Journal of Plant Diseases and Protection 117, 122-128.*

*Rieger MA, Lamond M, Preston C, Powles SB & Roush RT (2002)* ***Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields.*** *Science 296, 2386-2388.*

*Riggins CW, Peng YH, Stewart CN & Tranel PJ (2010)* ***Characterization of de novo transcriptome for waterhemp (Amaranthus tuberculatus) using GS-FLX 454 pyrosequencing and its application for studies of herbicide target-site genes.*** *Pest Management Science 66, 1042-1052.*

*Stewart CN, Tranel PJ, Horvath DP et al. (2009)* ***Evolution of weediness and invasiveness: Charting the course for weed genomics.*** *Weed Science 57, 451-462.*

*Tan S, Evans R & Singh B (2006)* ***Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops.*** *Amino Acids 30, 195-204.*

*Tranel PJ & Horvath DP (2009)* ***Molecular biology and genomics: New tools for weed science.*** *BioScience 59, 207-215.*

*Trucco F, Jeschke MR, Rayburn AL & Tranel PJ (2005)* ***Amaranthus hybridus can be pollinated frequently by A. tuberculatus under field conditions.*** *Heredity 94, 64-70.*

*Trucco F, Tatum T, Rayburn AL & Tranel PJ (2009)* ***Out of the swamp: unidirectional hybridization with weedy species may explain the prevalence of Amaranthus tuberculatus as a weed.*** *New Phytologist 184, 819-827.*

*Wassom JJ & Tranel PJ (2005)* ***Amplified fragment length polymorphism-based genetic relationships among weedy Amaranthus species.*** *Journal of Heredity 96, 410-416.*

*Wetzel DK, Horak MJ & Skinner DZ (1999)* ***Use of PCR-based molecular markers to identify weedy Amaranthus species.*** *Weed Science 47, 518-523.*

*Widholm JM, Chinnala AR, Ryu JH, Song HS, Eggett T & Brotherton JE (2001)* ***Glyphosate selection of gene amplification in suspension cultures of 3 plant species.*** *Physiologia Plantarum 112, 540-545.*

*Yuan JS, Abercrombie LLG, Cao Y et al. (2010)* ***Functional genomics analysis of horseweed (Conyza canadensis) with special reference to the evolution of non-target-site glyphosate resistance.*** *Weed Science 58, 109-117.*

*Zemetra RS, Hansen J & Mallory-Smith CA (1998)* ***Potential for gene transfer between wheat (Triticum aestivum) and jointed goatgrass (Aegilops cylindrica).*** *Weed Science 46, 313-317.*

Sys 868462



# Avanços na Herbologia com uma Proposta Inovadora de Interação da Pesquisa Pública com a Indústria

Níccholas R. Vidal[1], Ribas A. Vidal[2], Michelangelo M. Trezzi[3], João Portugal[4], Francisco Skora Neto[5], Fabiane P. Lamego[6], Augusto Kalsing[7], Adriano B. Machado[3], Lucas F. Cieslik[3], Aldo Merotto Jr.[2], Vitor Spader[8], Dana K. Meschede[9]

[1] **Eng. da Computação, M. Sc., PyxISS. Rio Claro, SP. Nick@iss.im**

[2] **Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. Pesquisador do CNPQ. ribas.vidal@gmail.com**

[3] **Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR. Pesquisador do CNPQ.**

[4] **Instituto Politécnico de Beja, Beja, Portugal.**

[5] **Instituto Agronômico do Paraná, Ponta Grossa, PR.**

[6] **Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS, Frederico Westfalen, RS.**

[7] **Instituto RioGrandense do Arroz, Cachoeirinha, RS.**

[8] **Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, Guarapuava, Entre Rios, PR.**

[9] **Faculdades Integradas de Ourinhos, Ourinhos, SP.**

## Introdução

O impacto das plantas daninhas no rendimento das culturas é muito acentuado. Estimativas preliminares indicam que somente nas culturas de arroz, feijão, milho, soja e trigo as infestantes reduzem a produção total em quase 11 milhões de toneladas/ano. Considerando que a safra brasileira de grãos foi de 130 milhões de t em 2010, então a perda pela interferência das infestantes, somente nas cinco culturas listadas, equivale a 8,4% da produção nacional (Vidal et al., 2010a).

O prejuízo financeiro aos agricultores causado pelas plantas daninhas, nas cinco culturas, é estimado em 4,9 bilhões de reais. A título de comparação, pode-se dizer que esse montante desperdiçado é quase o dobro do valor orçado para ser utilizado pelo governo federal no SUS (R$ 2,6 bilhões) em todo ano de 2010. Convém ressaltar que estas perdas (no rendimento e financeiras) ocorrem mesmo após tomadas todas as medidas para o controle das plantas. As perdas relatadas ocorrem porque os métodos de controle utilizados não possuem eficiência total; ou são empregados em momento inadequado ou insuficiente; ou não são utilizados na quantidade ou na intensidade necessária (Vidal et al., 2010a).

Os objetivos deste trabalho são: destacar a importância de um software de apoio à escolha de herbicidas; apresentar os requisitos para fazer este tipo de software; e descrever o potencial da utilização da tecnologia da Realidade Ampliada aplicada à área de Herbologia.

## *Elementos para a tomada da decisão da gestão de infestantes*

Normalmente toma-se a decisão de manejo de plantas daninhas com base no nível de infestação (densidade, massa) de cada espécie presente na área, ou seja, decide-se pelo controle dos indivíduos mais abundantes na área.

Nem sempre esta decisão é a mais correta, pois algumas espécies são muito competitivas e, mesmo sob baixas infestações, causam prejuízos muito acentuados no rendimento da cultura. Esses fatos justificam a necessidade de se pesquisar o nível crítico de dano (NCD) das plantas daninhas nas culturas.

## *Como a indústria e entidades públicas podem interagir na pesquisa dos NCD?*

O NCD consiste na perda percentual causada por apenas uma planta por metro quadrado. Este índice é necessário principalmente quando as infestações ocorrem em baixas densidades, pois é nesta condição que se tem dúvidas da necessidade de controle e sobre qual espécie priorizar o manejo (Vidal et al., 2010a).

Tradicionalmente, o método aditivo é empregado para a estimativa do NCD. Neste caso, diversas densidades de uma determinada espécie são estabelecidas na emergência da cultura e durante todo o ciclo as mesmas são mantidas constantes (Fleck et al., 2002; Passini et al., 2003; Balbinot Jr. et al., 2003; Rizzardi et al., 2004; Vidal et al., 2004; Agostinetto et al., 2005; Bianchi et al., 2006; Galon et al., 2007; Gherenkhloo et al., 2010; Portugal & Moreira, 2009; Machado & Trezzi, 2012). Ao final do ciclo, determina-se o rendimento da cultura, obtém-se o percentual de perda de produtividade em relação à testemunha não infestada e ajusta-se uma equação hipérbole retangular para, então, obter o NCD (Portugal & Vidal, 2010).

Devido aos elevados bancos de sementes que ocorrem na maioria das lavouras anuais deveriam ser utilizados herbicidas residuais. Nesta condição, há necessidade de saber se é necessário controlar as infestantes que conseguem germinar na área tratada. Diversas pesquisas (Merotto Jr. et al., 1997; Vidal et al., 2004; Vidal et al., 2010b; Lamego et al., 2011) indicam um perfeito ajuste da curva hipérbole retangular aos dados obtidos, sugerindo que este método é apropriado também para as pesquisas de NCD.

Este método é extremamente útil na prática para justificar a necessidade da utilização de herbicidas residuais. Este método sugere benefícios para as empresas de herbicidas residuais, para se evitar as perdas por interferência inicial (Vidal et al., 2004; Lamego et al., 2011; Kalsing et al., 2012).

Finalmente, este método também é de utilidade às empresas que possuem herbicidas de aplicação em pós-emergência, pois os NCD já pesquisados em feijão e milho indicam valores de perda superiores a 1% por planta/$m^2$. Isso indica a necessidade de complementação do controle com herbicidas em pós-emergência, mesmo na ocorrência de baixas densidades de infestantes (Vidal et al., 2004; Lamego et al., 2011; Kalsing et al., 2012).

## *Programa de suporte à decisão da escolha de herbicidas*

A seleção de herbicidas apropriados numa área é tarefa extremamente complexa. Entre os fatores que afetam esta decisão, incluem-se: diversidade de espécies de plantas daninhas encontrada na área de cultivo, o impacto destas na cultura, produção de sementes pelas infestantes remanescentes do controle, os herbicidas disponíveis e sua eficácia nas diversas espécies, os custos dos herbicidas, o valor da cultura, etc (Skora Neto, 2010; Kalsing et al., 2012).

Os primeiros softwares eram modelos de seleção de herbicidas que listavam os produtos de acordo com a eficiência esperada em uma determinada infestação de plantas daninhas. Esses modelos basicamente automatizavam as recomendações de eficácia de herbicidas de boletins de extensão. A segunda geração de softwares foi baseada em modelos "bioeconômicos" que relacionavam tratamentos com base no retorno econômico esperado, em função do custo do herbicida e do efeito esperado no rendimento da cultura. Alguns softwares fazem previsão do efeito dos tratamentos na dinâmica populacional das plantas daninhas, com

estimativa do efeito dos tratamentos no banco de sementes no solo. Com base num histórico de manejo da área, a rotação de herbicidas pode também ser considerada, para minimizar o potencial de evolução de resistência das plantas daninhas (Skora Neto, 2010).

## *Potencial da Realidade Ampliada no apoio à gestão de infestantes*

Realidade Ampliada consiste na utilização de softwares que permitam integrar elementos virtuais (informatizados) e o mundo real. Para alcançar um bom nível de integração entre o ambiente real e o virtual, é preciso considerar três aspectos: a entrada de dados ou o monitoramento do mundo real; o processamento dos dados de entrada; e a saída ou apresentação dos resultados do processamento e a sua inserção no mundo real (Vidal & Vidal, 2010).

Um bom exemplo de realidade ampliada é o sistema de navegação para automóveis. Sensores de posicionamento geográfico detectam a localização do veículo. O processamento e as orientações da rota a seguir são realizados por um sistema informatizado. Finalmente, o deslocamento do automóvel é apresentado ao usuário num mapa. A cada instante o sistema se atualiza e informa o usuário da nova posição e orienta as novas direções a serem seguidas para atingir um local definido.

A tecnologia de Realidade Ampliada pode ser empregada na área de herbologia para auxiliar na seleção de herbicidas (Vidal & Vidal, 2010). Nas seções subsequentes serão detalhadas cada etapa desta tecnologia, conforme as etapas de entrada de dados e o monitoramento do campo; processamento das informações de entrada conforme um modelo realista do campo, incluindo dados de outras bases; e saída ou o resultado do processamento e o *feedback* para o usuário.

Na sua forma mais simples, a entrada de informações poderia ser realizada pelo usuário durante o monitoramento da área. Este poderia utilizar um celular (ou tablet) com câmera para realizar diversas amostras. Ele poderia tirar fotos ou realizar a contagem da densidade de plantas por espécie, digitando os dados e enviando as informações via internet para um computador base. O GPS no celular indicaria a posição de cada informação. De fato, o monitoramento realizado pelo computador facilitaria o trabalho, pois o usuário não necessitaria contar manualmente as plantas daninhas dentro de um metro quadrado, como se propõe atualmente para se determinar o NCD. A contagem é apenas uma estimativa aproximada, com base numa avaliação ao acaso realizada em diversos pontos na área. Mas, com o monitoramento realizado com auxílio da Realidade Ampliada no computador, o valor será mais preciso, pois o número de pontos amostrados seria muito superior e o tempo gasto seria muito menor do que o do monitoramento manual (Vidal & Vidal, 2010).

O processamento das informações remetidas pela Internet poderia ser realizado num computador base (ou no próprio tablet, dependendo da capacidade do micro-processador). Um software pode ser utilizado para seleção de herbicidas baseado num banco de dados contendo os diferentes herbicidas, níveis de controle, seus custos e níveis de eficácia por espécie. A principal característica da tecnologia de Realidade Ampliada é a possibilidade de processamento dos dados em tempo real com concomitante visualização e seleção da opção de controle diretamente no campo, utilizando o monitor. Antes de tomar a decisão de controle, o usuário poderia simular e visualizar as consequências de cada decisão e, dessa forma, poderia prever o impacto no banco de sementes de infestantes e o impacto no lucro atual e nos custos de herbicidas no futuro (Vidal & Vidal, 2010).

Um dos grandes benefícios da Realidade Ampliada para apoio na escolha de herbicidas estaria relacionado à capacidade de utilização dessa tecnologia como poderoso aliado no processo educativo do usuário. De fato, na ocasião da seleção do herbicida, o sistema procuraria no banco de dados o histórico da utilização de produtos na área. Caso fosse detectado um padrão de risco de seleção para resistência aos herbicidas, por exemplo, o sistema emitiria uma mensagem de alerta e sugeriria que se utilizassem opções de rotação ou aplicação sequencial de compostos com mecanismo de ação alternativo ou complementar.

## *Considerações finais*

A sofisticação do sistema pode ser expandida tanto quanto a imaginação humana. A tecnologia de Realidade Ampliada poderia ser integrada com outros programas de computadores já existentes. Por

exemplo, depois da seleção pelo usuário, a informação do herbicida escolhido poderia ser enviada por internet diretamente para o distribuidor. Programas de computador presentes no distribuidor receberiam essa informação e a processariam, removendo o item do estoque, emitindo o receituário agronômico, a nota fiscal e a fatura de cobrança, por exemplo (Vidal & Vidal, 2010).

Outra utilização da informação poderia ser implementada quando todos agricultores de uma região utilizassem o sistema. Neste caso, os dados coletivos de todos os usuários poderiam ter pelo menos quatro utilidades. Primeiro, associadas a outros softwares poderiam ser utilizados para previsão de safra no ano. Segundo, poderiam ser utilizados para estimar a perda de grãos devido à interferência das infestantes e, dessa forma, demonstrar a necessidade de fundos, de pesquisa e de melhores tecnologias para a gestão de algumas espécies infestantes em particular. Terceiro, poderiam auxiliar na previsão da condição do banco de sementes no próximo ano e ajudar a cooperativa/distribuidor a prever os herbicidas a serem adquiridos para a próxima safra. Quarta, as informações geradas poderiam ser um poderoso recurso de marketing para a indústria, permitindo avaliar o *market-share* (percentual relativo de venda de cada herbicida) atual e futuro e, da mesma forma, poderia direcionar a publicidade para um público alvo bem específico.

A tecnologia de Realidade Ampliada já está sendo utilizada em diferentes segmentos da sociedade, destacando-se o uso militar, turismo, entretenimento, educação e medicina (ver referências em Vidal & Vidal, 2010). Acreditamos que todos os requerimentos básicos para desenvolvimento e implementação da tecnologia de Realidade Ampliada na agricultura estão disponíveis, incluindo algoritmos matemáticos para a programação e os hardwares.

A área de Herbologia do Brasil pode assumir um papel de liderança na implementação de Realidade Ampliada para apoio à seleção de herbicidas. Mas, antes que isto possa ser concretizado, há necessidade de obter informações básicas sobre a biologia das espécies infestantes tais como: sua prolificidade mesmo sob efeito de herbicidas e o seu NCD numa dada cultura. Com estas informações, é possível elaborar software para facilitar a escolha de herbicidas. Finalmente, após o cumprimento destas etapas, é possível implementar e técnica de Realidade Ampliada. É possível que esses passos sejam cumpridos em curto período de tempo desde que inicialmente se concentrem pesquisas numa única cultura; e que vários pesquisadores participem da investigação, obtendo os dados biológicos que poderão ser agrupados no software de escolha de herbicidas.

## *Agradecimentos*

Ao CNPQ e à CAPES pelo apoio às pesquisas e aos pesquisadores.

## Bibliografia

AGOSTINETTO, D. et al. **Dano econômico como critério na decisão sobre manejo de genótipos de arroz concorrentes em arroz irrigado.** *PAB, v. 40, n. 1, p. 1-9, 2005.*

BALBINOT JR., A.A. et al. **Competitividade de cultivares de arroz irrigado com cultivar simuladora de arroz-vermelho. PAB**, *v.38, n.1, p.53-59, 2003.*

BIANCHI, M. A.; FLECK, N. G.; LAMEGO, F. P. **Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua.** *Ci. Rural, v. 36, n. 5, p. 1380-1387, 2006.*

FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; AGOSTINETTO, D. **Nível do dano econômico como critério para tomada de decisão no controle de guanxuma em soja. Planta Daninha**, *v. 20, n. 3, p. 421-429, 2002.*

GALON, L. et al. **Níveis de dano econômico para decisão de controle de capim-arroz (Echinochloa spp.) em arroz irrigado (Oryza sativa).** *Planta Daninha, v. 25, n. 4, p. 709-718, 2007.*

GHEREKHLOO, J. et al. **Evaluation of multispecies weed competition and their economic threshold on wheat crop using regression equations. Planta Daninha**, *v. 28, n. 2, p. 239-246, 2010.*

KALSING, A.; SKORA NETO, F.; VIDAL, R.A. **SAGI 1,0: Sistema de Apoio à Gestão de Infestantes.** *Disponível em: <http://ribas.iss.im/category/sagi/>. Acessado em 30 de junho de 2012.*

LAMEGO, F.P et al. **Seletividade dos herbicidas S-metolachlor e alachlor para o feijão-carioca.** *Planta Daninha, v. 29, n. 4, p. 877-883, 2011.*

MACHADO, A.B.; TREZZI, M.M. **Nível crítico de dano de leiteira (Euphorbia heterophylla) em feijão comum (Phaseolus vulgaris).** Planta Daninha, *2012, em preparação.*

MEROTTO Jr., A. et al. **Aumento da população de plantas e uso de herbicidas no controle de plantas daninhas em milho. Planta Daninha**, *v. 15, n. 2, p. 141-151, 1997.*

PASSINI, T. et al. **Competitivity of the common-bean plant relative to the weed alexandergrass [Brachiaria plantaginea (Link) Hitch.].** *Sci. Agric., v. 60, n. 2, p. 259-268, 2003.*

PORTUGAL, J.; MOREIRA, L. **Impacto da erva-moira na produção do tomateiro e ajuste de modelos matemáticos.** *Planta Daninha, v. 27, n. especial, p. 901-911, 2009.*

PORTUGAL, J.; VIDAL, R.A. **Níveis econômicos de prejuízos de plantas infestantes nas culturas agrícolas: conceitos, definições e formas de cálculo. Planta Daninha**, *v. 27, n.4, p. 869-877, 2009.*

RIZZARDI, M. A. et al. **Interferência de populações de Euphorbia heterophylla e Ipomoea ramosissima isoladas ou em misturas sobre a cultura da soja. Planta Daninha**, *v. 22, n. 1, p. 29-34, 2004.*

SKORA NETO, F. **Utilização de programas de computador para mediar a gestão de infestantes.** *In: VIDAL, R.A.; PORTUGAL, J.; SKORA NETO, F.* **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais.** *Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 80-89.*

VIDAL, R. A. et al. **Nível do dano econômico de Brachiaria plantaginea na cultura de milho irrigado.** *Planta Daninha, v. 22, n. 1, p. 63-69, 2004.*

VIDAL, N.R.; VIDAL, R.A. **Augmented reality systems for weed economic thresholds applications.** *Planta Daninha, v. 28, n. 2, p. 449-454, 2010.*

VIDAL, R.A.; PORTUGAL, J.; SKORA NETO, F. **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais.** *Porto Alegre: Evangraf, 2010a. 133p.*

VIDAL, R.A. et al. **Interferência e nível de dano econômico de Brachiaria plantaginea e Ipomoea nil na cultura do feijão comum.** *Ci. Rural, v. 40, n. 8, p. 1675-1681, 2010b.*

# Precisão Experimental na Ciência das Plantas Daninhas

Dilermando Perecin (UNESP-Jaboticabal)

## Introdução

A experimentação com plantas daninhas segue de maneira geral os princípios básicos comuns a todas as áreas. Há necessidade de planejar os experimentos, a partir de hipóteses claras e definidas, com adequadas escolhas dos tratamentos e do delineamento experimental; bem como, com planejamento das análises estatísticas a serem realizadas.

Na escolha ou delineamento dos tratamentos é fundamental a inclusão de bons pontos de referência ou de testemunhas. A escolha do delineamento dependerá da disponibilidade e uniformidade das parcelas e do material para realização do experimento. A escolha da análise estatística dependerá principalmente das hipóteses a serem testadas, do tipo de variável amostrada e do delineamento experimental implantado; havendo frequentemente diversas alternativas; daí a importância do planejamento. Bons livros sobre delineamento de experimentos (p. ex.,Box et al., 1978; Gomes, 2000) tratam muito bem de todos esses aspectos gerais. Aqui serão abordados alguns aspectos mais específicos com plantas daninhas.

## Repetição e Casualização

Especialmente em experimentos de campo os materiais (tanto tratamentos como plantas daninhas) estão sujeitos as variações de diversas naturezas: solo, fertilidade e adubações, pragas e doenças etc. Para poder compensar os efeitos dessas variabilidades típicas das culturas no campo, os experimentos devem ser implantados com repetições e essas devem ser casualizadas. Sem isso, um material ou tratamento poderá ser alocado em um nicho particular do terreno, sendo então beneficiado ou prejudicado.

## Parcela

A parcela é constituída pela área (ou canteiro) em que cada repetição do tratamento é alocado. As parcelas devem ser preferencialmente todas do mesmo tamanho. Sem isso haverá heterogeneidade da variância, o que não é desejável. No geral, com culturas, são constituídas de 4 a 8 linhas e com comprimento preferencialmente maior que a largura. Se fizermos a extrapolação para 1 hectare, o fator de multiplicação é no geral superior a 100. Portanto, uma diferença de apenas 1m na parcela, seja por falha ou por problemas de instalação, pode representar bom percentual em termos da produção expandida para hectare.

Trabalhos experimentais com várias culturas demonstram que no geral é mais conveniente reduzir o tamanho da parcela e aumentar o número de repetições.

## Bordadura e área útil da parcela

Para que não haja influência de fatores de borda, especialmente maior luminosidade, ventos e competição por luz e nutrientes com material na parcela adjacente, é necessário separar a Bordadura e colher só materiais da área útil da parcela. Para isso toda área experimental deve ser plantada com bordadura, especialmente parcelas de borda.

A não observância desse fato pode aumentar a variabilidade , subjetivamente avalia-se em mais de 30%. Ainda, devido as dificuldades práticas, é preciso muita atenção para não misturar linhas de materiais ou tratamentos diferentes ou mesmo da bordadura, na hora da colheita.

## *Estande da cultura e das plantas daninhas*

O problema do estande é sério e não há uma maneira segura de fazer correção. Análises de covariância e outras técnicas de correção de estande dificilmente melhoram os resultados. Alguns materiais fazem certa correção do estande por si só, através do perfilhamento ou brotação; outros materiais, não tem essa capacidade, o que complica qualquer tentativa de correção. A uniformidade das plantas daninhas na área experimental é também aspecto complexo e será discutido adiante.

## *Delineamento das parcelas no campo*

Todo experimento de campo deve ser instalado e conduzido segundo um delineamento preestabelecido. No geral, por questões técnicas e também por tradição e comodidade, o delineamento mais utilizado é o Blocos Casualizados Completos, com uma repetição de cada tratamento em cada bloco, e com 4 a 6 blocos por local.

No geral, cada bloco deve localizar-se com as linhas acompanhando a curva de nível e as parcelas devem ser homogêneas para solo, declividade, fertilidade etc. Outro bloco, pode localizar na mesma curva de nível ou em curva de nível diferente. Embora teoricamente um bloco possa ser diferente de outro, há que se ter certos limites, pois teoricamente os efeitos de blocos devem ser manifestados de forma aditivamente similar em todos materiais. Não pode ocorrer interação genótipos x bloco; o que fatalmente acontecerá se os blocos forem muito diferentes (interação genótipo x ambiente).

## *A importância do conceito de bloco*

O Bloco não pode ser confundido com repetição. O Bloco tem que ser entendido como um conjunto de parcelas uniformes, quanto a sua disposição no campo, no geral na mesma curva de nível, e também para outros fatores. O ideal é que tanto o plantio como a colheita sejam feitos por Bloco, pois isso manterá a uniformidade. Não há problemas se o plantio ou se a colheita de um Bloco como um todo não for processado no mesmo dia, mas pode alterar a uniformidade, se isso acontecer em só parte do Bloco .

O Bloco pode ser completo com uma ou mais repetição de cada genótipo, embora o usual seja uma repetição; mas pode ser incompleto faltando tratamentos (exemplo, blocos de Federer e outros delineamentos similares). Esses delineamentos também conhecidos como blocos aumentados, são muito usuais nas fases iniciais do melhoramento de várias culturas. As variedades padrões ou testemunhas são instaladas em blocos casualizados e cada bloco recebe um número adicional de clones (uma ou mais repetições, dependendo da disponibilidade de material). Na análise estatística haverá ajustes, os clones que ficam nos melhores blocos serão penalizados e os que ficam nos piores blocos serão bonificados; exigindo comparações ajustadas, ver Scott e Milliken (1993).

## *Experimentos com parcelas grandes*

Algumas técnicas empregadas no manejo, preparo do solo ou colheita da cultura, podem exigir parcelas grandes para a sua própria execução. Com isso, se forem feitas todas repetições necessárias, o experimento pode ficar muito grande e por problemas de custo ou de uniformidade da área, inviável.

Uma alternativa, é a subdivisão da parcela grande em subparcelas menores. Estas serão então colhidas de forma separada.

Na análise estatística serão levadas em conta a variabilidade experimental (entre parcelas grandes) e a variabilidade amostral entre subparcelas (dentro). Freqüentemente as relações entre essas variabilidades são não significativas. Nesse caso, elas funcionam como "repetições" e podem ser reunidas, aumentando a representatividade

das variações ambientais. Quando a variabilidade experimental (entre) é muito maior que a variabilidade amostral (dentro) é forte indicador de que o conceito de bloco não foi adequadamente aplicado. O contrário (maior varibilidade amostral) é forte indicador da não adequação ou da representatividade da subparcela amostrada.

## *Número de repetições*

O número de repetições depende basicamente da diferença que se quer detectar e/ou do parâmetro que se quer estimar. Quanto menor a diferença que se quer detectar, maior o número de repetições e isso pode ser calculado caso a caso.

De modo geral, para razoável estimação das variações ambientais, que servirão para estimar o erro padrão associado às médias, o experimento não pode ser muito pequeno (o usual é um mínimo de 20 parcelas) e também o grau de liberdade associado à variação ambiental ou Resíduo também não pode ser muito baixo (o usual é exigir um mínimo de 10).

É mais ou menos clássico na experimentação, que é mais eficiente aumentar o número de repetições e diminuir o tamanho da parcela do que o contrário. A diminuição do tamanho da parcela em função dos efeitos de borda, das dificuldades práticas da instalação e da representatividade do estande pode ser problemática. Para a maioria dos experimentos, 4 a 6 repetições é um número bastante razoável. Por outro lado, o número de repetições pode depender do parâmetro a estimar. Para estudos de genética quantitativa, o número de repetições pode ser bem maior. Estimadores do componentes de variância, por exemplo, possuem variância proporcional ao quadrado do próprio valor; exigindo para confiabilidade maiores graus de liberdade associados, o que pode ser conseguido pelo adequado dimensionamento do número de repetições. Representação da variabilidade genética natural ou em progênies de uma família também são exemplos em que o número de repetições ou de indivíduos deve ser maior ( Resende, 2002).

## *Interação genótipo com ambiente*

Todo experimento é avaliado de forma comparativa, para isso é necessário que tenha bons pontos de referência ou testemunhas (padrões). Os materiais biológicos interagem com o ambiente e isso pode resultar respostas diferentes do fenótipo observado em cada local.

Do ponto de vista prático, interessam materiais robustos quanto a pequenas variações do ambiente. Por essa razão, os experimentos devem ser repetidos em vários ambientes e em vários anos, para que haja condição efetiva de manifestação dos efeitos e avaliação dos materiais.

Os experimentos devem ser conduzidos com muito cuidado em todos locais. Sendo muito usual fazer inicialmente uma análise conjunta, que será discutida em item adiante.

Do ponto de vista teórico, admitindo-se que as respostas (Y) e os ambientes (X) possuem distribuições normais (binormais), demonstra-se que a função que relaciona o valor esperado de Y para cada X conhecido é uma reta. Isso é um teorema clássico em probabilidade.

Na aplicação prática desse teorema uma dificuldade é medir o ambiente (X). Uma idéia, atribuída a Eberhart e Russel (1966), é tomar uma amostra de ambientes e definir X como a diferença ente o Y médio de cada local e o Y médio geral. Originam-se assim os ambientes bons (acima da média geral) e os ambientes ruins (abaixo da média geral). Um defeito desse método é que X é função direta do próprio Y e defeito agrava-se se os ambientes e/ou os genótipos não forem escolhidos de forma aleatória, o que é muito comum. Há, então, diversas outras maneiras de analisar as interações do genótipo com o ambiente (Crossa, 1990).

## *Uniformidade na condução e na avaliação do experimento. coeficiente de variação*

A questão fundamental nos experimentos é que se controle a uniformidade e para isso os experimentos devem ser bem conduzidos e a amostra de cada parcela deve ser adequada para que os materiais manifestem seus verdadeiros valores.

Uma interessante maneira de avaliar a uniformidade do experimento é através do coeficiente de variação, definido como o quociente porcentual entre o desvio padrão e a média do experimento.

O desvio padrão é uma medida internacionalmente usada, da variabilidade entre repetições do mesmo material e depende da maneira criteriosa de conduzir o experimento e amostrá-lo. Serve para avaliar indiretamente se o experimento foi bem conduzido e se as respostas foram boas.

Para chamar atenção, na Tabela 1 são mostrados os DMS (diferença mínima significativa, no caso, T 5%) necessários para que um material possa ser considerado superior a outro em termos de produção de cana (t/ha), a partir de experimentos conduzidos em blocos casualizados com 4 repetições.

A fórmula, em forma descritiva, é :

*DMS = Valor tabelado x Média geral x (CV /100)/ (raiz quadrada do nº de repetições).*

Nota-se pela fórmula e pela Tabela 1, a conveniência de se trabalhar com CV baixos (preferencialmente menores que 5%); caso contrário, fica muito difícil concluir se a diferença observada é realmente de superioridade ou de simples acaso.

TABELA 1 - Diferença mínima significativa pelo T (LSD) 5% paracomparar produção de cana em de tratamentos, em função do coeficiente de variação(CV), para 10 tratamentos em 1 e 5 ambientes e produção média do experimento, em blocos casualizados com 4 repetições.

| Coef. | 10 trat. em 1 só ambiente | | | 10 trat. em 5 ambientes | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Variação | 70 t/ha | 80 t/ha | 90 t/ha | 70 t/ha | 80 t/ha | 90 t/ha |
| 2 % | 2,0 | 2,3 | 2,6 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| 5 % | 5,0 | 5,7 | 6,4 | 2,1 | 2,5 | 2,8 |
| 10 % | 10,0 | 11,4 | 12,9 | 4,3 | 4,9 | 5,5 |
| 15% | 15,0 | 17,1 | 19,3 | 6,4 | 7,4 | 8,3 |
| 20 % | 20,0 | 22,9 | 25,3 | 8,6 | 9,8 | 11,0 |

Por exemplo, para um CV de 15%, a Tabela 1 mostra que só se provará a superioridade de um tratamento se no experimento apresentar uma diferença superior a 15 t/ha; se estiver em apenas um ambiente! Mas isso baixa para menos de 3 t/ha, se o CV for de 5% e estiver em 5 ambientes.

Portanto, os benefícios da repetição em vários ambientes, especialmente se não ocorrer forte interação (genótipo x ambiente), podem ser visualizados também na Tabela 1.

Embora existam testes mais adequados que o T-LSD, para situações específicas (O'Neill & Wetherill, 1971; Perecin e Barbosa, 1988), a Tabela 1 mostra claramente as vantagens de se trabalhar com CV baixos e para isso é necessário que a parte experimental de campo e as amostragens sejam feitas com muito cuidado e adequação.

## *Plantas daninhas no campo*

No geral, se trabalha com contagens. A disposição das plantas na área pode ser de três tipos: ao acaso ou aleatória, com agregação ou em reboleiras , uniforme ou regular.

Há uma relação esperada entre a variância (V) e a média (M) das contagens: ao acaso ou aleatória, V=M, com agregação ou em reboleiras, V>M (sobredispersão), uniforme ou regular, V<M (subdispersão).

Outra forma usual para avaliar essa dispersão é pelos semivariogramas e mapas, obtidos com auxílio da geoestatística (Vieira et al., 1983).

## *Dinâmica a infestação*

Embora possam existir outros casos, no geral a infestação iniciase ao acaso ou aleatória, em pontos isolados da área, multiplica-se de forma agregada ou em reboleiras, com o tempo toma-se toda área, tornando-se uniforme. Nesse processo, a variância inicia-se igual a média, aumenta até um máximo, e diminui até a uniformização.

Com semeadura, a infestação pode ficar uniforme!!! Portanto, semear plantas daninhas na área experimental, é uma boa estratégia para melhorar a precisão experimental.

## *Amostragem da infestação*

A amostragem é fortemente dependente da dinâmica e depende do seu estágio, sendo mais complexa no caso agregada.

Se as unidades de amostragem forem pequenas e bem distribuídas na área, a distribuição amostral se comporta como aleatória (aleatorização por construção). Se a sobredispersão for de até 20% ((V/M)<1,2), pode-se trabalhar, para fins práticos, como se fosse aleatória (Perecin & Barbosa, 1994).

Os pesquisadores procuram encontrar o tamanho da amostra (número de repetições ou tamanho da amostra) e também em métodos expeditos e precisos para estimação da resposta dos tratamentos, tanto em áreas experimentais como também em áreas comerciais.

Uma estratégia interessante : Encontrar área de amostragem em que ((V/M)<1,2 ) e o CV esteja entre 20-30%. O CV para amostra composta por m dessas áreas originais, pode ser estimado por CV= 25/(m)-2. Para um CV =10%, m= 252/(102) =6 pontos.

Ou seja, a precisão experimental pode ser pré-escolhida !!!

Isso é válido para parcelas ou para talhões uniformes.

## *Parcelas pareadas*

Uma estratégia interessante é construir delineamentos com parcelas pareadas, uma tratada (T) e outra pareada (P) para controle.

Trabalhar com as diferenças (T-P) e testar se as médias das diferenças é zero. Para isso: Construir a estatística TC= dif(T-P)/ (QMRes/rep) 1/2, onde rep= (repetições), QMres=Quadrado médio do resíduo.

Usando a distribuição t, o valor mínimo significativo para diferir de zero (em valor absoluto) deve ser menor que o valor de referência(~2, para nível de significância de 5%).

Detalhes dessa técnica podem ser vistos em Perecin et al. (2011).

## *Transformações para análise dos dados*

Para análise de variância há necessidade de vários prérequisitos, sendo importante a homogeneidade da variância. As variâncias das contagens dependem da distribuição das plantas daninhas no campo: Se aleatória, V=M, a variância depende da média do tratamento e não haverá homogeneidade se os tratamentos tiverem médias diferentes, usa-se raiz quadrada para homogeneizar as variância; Se agregada ou sobredispersa, V>>M, usa-se logarítmica (contagem +1); Se regular ou subdispersa, não há necessidade de transformações para esse propósito.

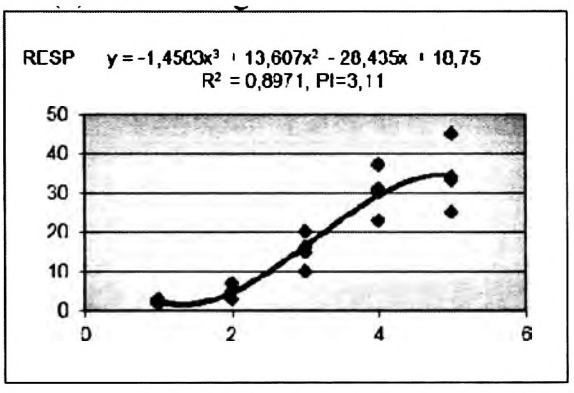
Algumas variáveis respostas (RESP), mesmo contagens, mostram desvio padrão proporcional à média. Pode-se verificar essa relação pelo diagrama de dispersão, determinar a reta y = a + b x, plotando-se: x = log(média) versus y = log(desvio padrão). Box et al. (1978) mostram as transformações que estabilizam a variância, para esses casos:

b=2,0, recíproca : RESPT(1) = RESP-1;
b=1,5, recíproca da raiz quadrada : RESPT(2) = RESP-1/2;
b=1,0, logarítmica : RESPT(3) =LOG ( RESP);
b=0,5, raiz quadrada :RESPT(4) = RESP1/2;
b=0, não use transformação .

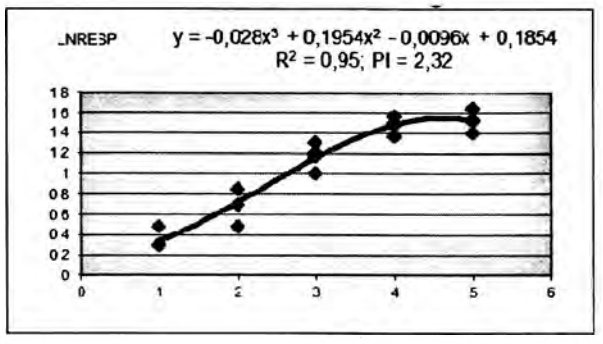
***Exemplo***: Seja um caso hipotético, em que se avalia o crescimento de uma espécie de planta daninha ao longo de 5 tempos, com 4 repetições por tempo. Na Figura (a), dados originais, verifica-se que não há homogeneidade de variância para a resposta (RESP), eixo das ordenadas, dentro de cada um dos tempos, eixo da abscissa. A relação entre x = log(média) versus y = log(desvio padrão), não apresentadas aqui, mostram (b~1) e sugerem, pelo critério do item anterior, a transformação logarítmica. Isso foi feito e é mostrado na Figura (b).

Nota-se na Figura (b), a homogeneidade de variância para o logaritmo da resposta (LNRESP), eixo das ordenadas, dentro de cada um dos tempos, eixo da abscissa. Nota-se também na Figura (b) que o R2 melhora e que o ponto de inflexão (PI) diminui.

(a) Dados originais




(b) Dados transformados em logaritmo




## Bibliografia


*BOX, G. E. P., HUNTER, W. G., and HUNTER, J. S.* ***Statistics for experimenters: An introduction to design, data analysis, and model building.*** *John Wiley , 1978.*

*CROSSA, J.* ***Statistical analysis of multilocation trials.*** *Advances Agronomy, v. 44, p.55-85, 1990.*

*EBERHART, S. A. ; RUSSEL, W. A.* ***Stability parameters for comparing varieties.*** *Crop Sci., v.6, p.36-40, 1966.*

*GOMES, F. P.* ***Curso de Estatística Experimental.*** *14ª Edição. Piracicaba, ESAL/USP. 477 p.*

*O'NEILL, R. ; WETHERILL, G.B.* ***The present state of multiple comparison methods.*** *J. Royal Stat. Soc., B ,v.33, p.218-250, 1971.*

*PERECIN, D. ; BARBOSA, J.C.* ***Uma avaliação de seis procedimentos para comparações múltiplas.*** *Rev. Mat. Estat., São Paulo, v.6, p.95- 103, 1988.*

*PERECIN, D. ; BARBOSA, J.C.* ***Afinidade entre distribuições de contagio e Poisson para fins práticos de amostragem.*** *Rev. Mat. Estat., São Paulo, v12, p.107-112, 1994.*

*PERECIN, D.;AZANIA, C.A.M.;FERRAUDO, G.M.; SCHIAVETTO, A.R.* ***Delineamento com parcelas pareadas. Usos e análises estatísticas. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 56, e Simpósio de Estatística Aplicada a Agronomia,*** *14., 2011, Maringá, PR. ANAIS... Un. Estadual de Maringá, PR, 2011.*

*REZENDE, M. D. V.* ***Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes.*** *Brasília, Embrapa. 2002. 975p.*

*SCOTT, R. A.; MILLIKEN, G.* ***A SAS program for analysing augmented randomized complete-block designs.*** *Crop Science, v. 33, p.865-867,1993.*

*VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.* ***geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties.*** *Hilgardia, v. 51, p.1-75, 1983.*

# *Precisão Amostral na Ciência das Plantas Daninhas.*

Edivaldo Domingues Velini[1]; Maria Lucia Bueno Trindade[1]; Caio Antonio Carbonari[1]

**Faculdade de Ciências Agronômicas / UNESP – Botucatu. Departamento de Produção Vegetal – Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia.**

## *Introdução*

A área de matologia tem apresentado um crescimento contínuo de importância em nosso país. Tal afirmação pode ser facilmente comprovada pela análise de estatísticas referentes à produção e ao consumo nacional das várias classes de agrotóxicos. Os herbicidas correspondem à principal classe de agrotóxicos tanto em termos nacionais quanto mundiais. Deve ser ressaltado que o uso de herbicidas é apenas um dentre os vários métodos de controle de plantas daninhas amplamente utilizados em nossa agricultura.

Como resultado deste aumento de importância, elevaram-se também o número de trabalhos de pesquisa realizados na área e o número de pesquisadores dedicados à matologia. No entanto, ainda hoje são praticamente inexistentes na literatura nacional e raros na literatura mundial, trabalhos de pesquisa que tiveram por objetivo avaliar a precisão de métodos amostrais ou experimentais utilizados neste ramo da ciência.

Quando se tem por objetivo avaliar o nível de eficácia de diferentes herbicidas no controle de uma ou várias espécies de plantas daninhas, os procedimentos adotados para a instalação dos experimentos são bastante similares aos utilizados em vários outros ramos da experimentação agrícola. Em muitas situações, os sistemas experimentais usuais mostram-se pouco eficazes no controle da variabilidade dos resultados obtidos, resultante de desuniforme distribuição das plantas daninhas na área experimental. Como conseqüência, são freqüentes experimentos com altíssimos coeficientes de variação, dificultando a interpretação dos resultados obtidos e praticamente impossibilitando a extração de conclusões confiáveis a partir dos mesmos.

Uma outra preocupação quanto a este tipo de estudo, refere-se à análise estatística utilizada. Vários procedimentos podem ser adotados, incluindo-se testes de comparação de médias, análises de regressão e outros. Os tipos de análise estatística são praticamente os mesmos utilizados em trabalhos de pesquisa de outras áreas da agronomia. De forma específica para a matologia, são praticamente inexistentes, estudos que tiveram por objetivo avaliar a efetiva contribuição dos vários tipos de análise estatística no sentido de evitar a obtenção de conclusões parcial ou completamente incorretas, a partir de um determinado conjunto de resultados.

Muitas das metodologias empregadas em levantamentos de plantas daninhas correspondem a adaptações de metodologias utilizadas em outras áreas de conhecimento. São raros, na literatura mundial, trabalhos de pesquisa cujo objetivo tenha sido o de estabelecer critérios para a realização de levantamentos de plantas daninhas de forma a maximizar a precisão das medidas de posição e dispersão obtidas. A obtenção de estimativas precisas dos parâmetros que representam uma determinada população de plantas daninhas tem adquirido importância crescente nos últimos anos, na medida em que é fundamental para a constatação e o estudo de modificações nas características desta população em função do uso de determinados herbicidas ou de outras práticas de controle. São exemplos o desenvolvimento de resistência a herbicidas e a mudança de flora associada ao uso de herbicidas ou da adoção de diferentes práticas de manejo, como a cobertura do solo com palha.

A seleção do programa de controle de plantas daninhas mais adequado a cada condição, deve, sempre que possível, ser fundamentada em informações precisas previamente obtidas. A utilização de métodos experimentais e amostrais inadequados pode levar a conclusões desprovidas de veracidade e, conseqüentemente, a erros importantes em termos de seleção e utilização destes programas.

O objetivo deste texto é agrupar as informações bastante escassas neste tema e apresentar alguns conceitos fundamentais sobre a amostragem de plantas daninhas.

## *Métodos empregados em levantamentos de comunidades de plantas daninhas*

São bastante escassos na literatura mundial, trabalhos que tiveram por objetivo desenvolver, comparar ou estudar possíveis métodos amostrais utilizados em matologia. Na literatura nacional, estes trabalhos são praticamente inexistentes.

A maior dificuldade em termos de amostragem de plantas daninhas resulta da distribuição irregular das mesmas. Esta desuniformidade de distribuição não é característica exclusiva das plantas daninhas. PERECIN & BARBOSA (1992) citaram, como exemplos de situações com distribuição irregular dos indivíduos, comunidades de plantas daninhas, insetos e plantas contaminantes de culturas.

TAYLOR (1961) e PERECIN & BARBOSA (1992), apresentaram 3 possíveis classificações para as distribuições em função da média e da variância. A distribuição é denominada aleatória, quando os indivíduos distribuem-se de forma independente em uma determinada área; neste caso a variância é igual a média, característica típica da distribuição de Poisson. A distribuição é denominada regular se a variância é menor que a média; normalmente este tipo de distribuição ocorre quando a presença de um indivíduo limita a ocorrência de vizinhos, ou seja, ocorre a repulsão entre os indivíduos da população. A distribuição é denomidada contagiosa se a variância sobreleva a média; esta distribuição verifica-se quando a presença de um indivíduo aumenta a probabilidade de ocorrência de outros indivíduos nas proximidades, levando à agregação dos mesmos.

No caso de plantas daninhas, esta "atração" é resultante, provavelmente, de características do sistema reprodutivo. Na ausência de mecanismos ativos de dispersão, como é o caso da *Brachiaria plantaginea*, a espécie estudada neste trabalho, os propágulos de uma determinada planta provavelmente produzirão novas plantas muito próximas entre si e da posição original da planta mãe, condicionando a ocorrência de reboleiras, expressão da agregação entre os indivíduos.

Efetivamente, POST (1988) estabeleceu duas causas para esta desuniforme distribuição das plantas daninhas no campo. A primeira delas refere-se ao processo de dispersão em si; a dispersão localizada de plantas irregularmente distribuídas resulta em desuniformidade. A segunda causa é a variabilidade espacial das condições que regulam a germinação; este fator pode causar variações nas densidades populacionais, mesmo quando as sementes são uniformemente distribuídas na área. Se as condições ecológicas tendem a favorecer a germinação de uma determinada semente, devem também favorecer a germinação de outras sementes próximas a ela, condicionando o surgimento de reboleiras.

Segundo PERECIN & FERNANDES (1991), os dados obtidos a partir de populações com distribuição contagiosa podem ser razoavelmente descritos por distribuições binomiais negativas ou outras distribuições compostas e, no geral, estas distribuições são denominadas de contágio. PERECIN & BARBOSA (1992) apresentaram algumas características da distribuição binomial negativa; a variância relaciona-se com a média pela expressão $\mathbf{s^2 = m + m^2/k}$; quando **k** , a distribuição se aproxima da distribuição de Poisson e quando **k** **0**, aproxima-se da série logarítmica. Um valor de **k** próximo a 10 é suficiente para que a distribuição possa se mostrar similar à de Poisson. Quanto menor o valor de **k** maior a probabilidade de ocorrência de agregações ou reboleiras (WILES et al., 1992b).

Em levantamentos de plantas daninhas, a distribuição binomial negativa já foi utilizada por ZIMMERMANN (1979), MARSHALL (1988), BERTI et al. (1992) e WILES et al. (1992b). Zanini & Berti (1989) citados por BERTI et al. (1992) e WILES et al. (1992a) desenvolveram sistemas de amostragem seqüencial de plantas daninhas fundamentados no uso desta distribuição.

Deve ser destacado o trabalho de WILES et al. (1992b). Os autores determinaram o valor de **k** para 13 espécies de plantas daninhas em 7 localidades. Os valores obtidos situaram-se entre 0,03 e 2,79, mas apenas 3 deles mostraram-se superiores a 1. Os mesmos resultados são apresentados por WILES et al. (1992a). A maioria das estimativas de **k** apresentaram valores bastante baixos, indicando elevada irregularidade de distribuição das espécies estudadas, nas localidades selecionadas. Foram considerados aproximadamente 22,5 pontos de amostragem por hectare, sendo que cada amostra correspondeu a uma faixa de 9,1 metros de comprimento e 16 cm de largura, posicionada sobre as linhas da cultura (soja). Os campos de soja selecionados apresentam área entre 1,6 e 4,0 ha. Na maioria das situações estudadas as densidades das plantas daninhas foram inferiores a 10 plantas / $m^2$. De forma coerente, BERTI et al. (1992) verificaram ajustes satisfatórios à distribuição binomial negativa somente quando as densidades de plantas daninhas foram inferiores a este valor; RUESINK & KOGAN (1975) mencionaram que, quando a média é superior a 0,5, a distribuição binomial negativa só apresenta ajuste satisfatório se os indivíduos da população distribuem-se de forma altamente agregada ou contagiosa.

O levantamento de plantas daninhas pode ter vários objetivos. A primeira idéia que surge é a determinação de medidas de posição ou dispersão de uma ou várias populações de uma comunidade. Este tipo de trabalho, tem por finalidade representar as populações que ocorrem em distintos locais ou momentos, permitindo a comparação das mesmas; são exemplos os trabalhos de STANIFORTH et al. (1965), ZIMMERMANN (1979), WILES et al. (1992b) e LEMIEUX et al. (1992). Em outras situações, os dados obtidos nos levantamentos podem ser utilizados para a elaboração de estudos fitossociológicos; um exemplo é o trabalho de SHARMA (1981). Em sistemas de amostragem seqüencial, o objetivo é o de determinar se a densidade de uma determinada espécie é superior ou inferior a um determinado valor mínimo necessário para que seja justificada a adoção de uma determinada prática de controle; um exemplo é o trabalho de BERTI et al. (1992). Em todas estas situações, é desejável que todas as características das populações em estudo, sobretudo a média, sejam adequadamente determinadas com o mínimo dispêndio de trabalho por parte do pesquisador.

CONN et al. (1982) afirmaram que, apesar de muitos pesquisadores estarem se dedicando ao estabelecimento de níveis de dano econômico de plantas daninhas em culturas em geral, muito pouco tem sido feito para o estabelecimento de métodos mais adequados para a determinação da abundância das plantas daninhas. Os autores enfatizaram que a propriedade das decisões tomadas quanto à determinação da necessidade de controle e a seleção da prática mais adequada, depende de estimativas precisas da abundância de plantas daninhas, e que em programas de manejo integrado, a seleção de esquemas de amostragem deve também levar em consideração os custos desta operação. É considerado adequado um sistema de amostragem que permita estabelecer, com precisão, a abundância das plantas daninhas com o mínimo consumo de trabalho, ou seja, com o mínimo custo.

Em praticamente todos os trabalhos consultados, referentes a levantamentos de plantas daninhas, os autores não mencionaram a forma de seleção do tamanho, formato e número das amostras utilizadas, sugerindo que estas características tenham sido estabelecidas de forma aleatória ou em função de observações anteriores dos autores. A única exceção é o trabalho de SHARMA (1981) em que o tamanho e número das amostras foram estabelecidos com base no método apresentado por MUELLER - DOMBOIS & ELLENBERG (1974), aplicado com freqüência em levantamentos fitossociológicos de comunidades naturais, mas com adequabilidade ainda não comprovada a levantamentos de plantas daninhas. Neste trabalho, o autor utilizou 104 e 50 quadros de amostragem de 2 $m^2$, em duas épocas de avaliação.

Outra limitação do método de MUELLER - DOMBOIS & ELLEMBERG (1974) refere-se à forma de determinação do tamanho ideal da unidade de amostragem, que é feita a partir de uma curva (geralmente uma exponencial assintótica) que relaciona o número de espécies encontradas e a área total avaliada (produto do número de pontos de amostragem pela área do amostrador inicial, de dimensões prévia e aleatoriamente estabelecidas). Este método não poderia ser utilizado para avaliação de comunidades compostas por uma ou poucas espécies de plantas daninhas; tais comunidades são comuns quando alguma prática de controle é previamente utilizada ou em função da pressão de seleção exercida pelos herbicidas ao longo de vários anos de uso.

Especificamente quanto a níveis de dano econômico, em muitos trabalhos os autores tiveram por objetivo apenas determinar a densidade mínima de uma dada espécie de planta daninha que justificasse a

adoção de práticas de controle. THORNTON et al. (1990), NAVAS (1991), MAXWELL & GHERSA (1992), WILES et al. (1992a), WILES et al. (1992b) e WILES et al. (1993) constataram que as reduções de produtividade impostas pelas plantas daninhas dependem da densidade média e, também, da distribuição das mesmas no campo.

WILES et al. (1992a) observaram que, quando a relação entre a densidade populacional da planta daninha e as perdas de produtividade não é linear, o erro que se comete ao tentar prever as perdas de produtividade a partir da densidade populacional média é equivalente ao erro que seria cometido se fosse admitida relação linear entre as duas características (densidade populacional e redução de produtividade). Devido à competição entre as próprias plantas daninhas, as reduções de produtividade impostas às culturas são tanto menores quanto maior o nível de agregação ou contagiosidade; quando se admite erroneamente a distribuição regular das plantas daninhas no campo, as perdas de produtividade e a necessidade de controle são superestimadas. Os autores salientaram ainda que o desenvolvimento de sistemas de manejo integrado que considerem também a distribuição das plantas daninhas tem sido limitado pela ausência de informações a este respeito.

Desta forma, é fundamental que, em trabalhos de pesquisa referentes ao estudo e desenvolvimento de sistemas de amostragem, sejam estabelecidas as características que tais sistemas devem apresentar para que, além da média, a distribuição da espécie em estudo possa ser avaliada com a necessária precisão.

Especificamente quanto à comparação de sistemas de amostragem de plantas daninhas, serão discutidos a seguir os trabalhos encontrados na literatura. No primeiro deles, CONN et al. (1982) determinaram o número de repetições necessárias, o consumo de tempo e as variâncias associadas a 3 formatos de amostras (0,6 m x 0,6 m; 0,6 m x 1,5 m e 1,2 m x 2,1 m) e 2 sistemas de determinação dos pontos de amostragem; o primeiro sistema corresponde ao estabelecimento aleatório de tais pontos, ao passo que, no segundo sistema, o amostrador estabelece um novo ponto de amostragem sempre que encontra uma nova espécie ou avalia que a escolha do ponto auxiliará na representação da comunidade infestante. O trabalho foi realizado em pomares de macieira naturalmente infestados com várias espécies de plantas daninhas. Os 2 procedimentos mostraram-se mais adequados para *Muhlenbergia schreberi* e *Taraxacum officinale*, respectivamente, sendo que os autores não apresentaram justificativas para este comportamento. Duas horas de trabalho foram suficientes para que as variâncias observadas para os dados de abundância das espécies em estudo fossem drasticamente reduzidas; neste intervalo de tempo, foi possível a avaliação de 48, 38 e 28 amostras de 0,6 m x 0,6 m; 0,6 m x 1,5 m e 1,2 m x 2,1 m, respectivamente. Para a espécie *Muhlenbergia schreberi*, os 2 menores quadros de amostragem apresentaram eficiência similar e condicionaram, para quantidades de trabalho equivalentes, menores variâncias do que as verificadas para o amostrador de 1,2 m x 2,1 m. Para *Taraxacum officinale*, as menores variâncias (também para quantidades equivalentes de trabalho) foram verificadas para o amostrador de tamanho intermediário (0,6 m x 1,2 m), não havendo diferenças substanciais entre as variâncias verificadas para os demais amostradores. Para as 2 espécies em conjunto, os autores concluíram pela maior eficiência do amostrador de 0,6 m x 1,2 m. A maior falha do trabalho correspondeu à ausência de informações referentes aos níveis de infestação da área pelas espécies de plantas daninhas em estudo; a ausência destas informações impossibilitou a adequada avaliação da magnitude da dispersão dos dados. As variâncias situaram-se entre 5,8 e 80 e entre 0,23 e 10,2; para *Muhlenbergia schreberi* e *Taraxacum officinale*, respectivamente.

LEMIEUX et al. (1992) estudaram e compararam vários sistemas para avaliação da abundância de *Elytrigia repens*, uma espécie que se reproduz vegetativamente através de rizomas. Os autores salientaram que os procedimentos de amostragem utilizados para a avaliação da quantidade acumulada de rizomas de *E. repens*, não haviam sido testados anteriormente quanto à acuracidade das informações obtidas. A planta daninha foi implantada em 24 parcelas de 2 m x 2 m, permitindo-se que a mesma crescesse por um longo período antes da realização das avaliações. As avaliações foram realizadas com o auxílio de um amostrador de 0,9 m x 0,9 m, subdividido em 36 sub-unidades de 0,15 m x 0,15 m, determinando-se individualmente a abundância de *E. repens* em cada uma das sub-unidades; conhecendo-se a variância entre as sub-unidades, os autores simularam várias densidades populacionais e tamanhos de parcelas. Foram também consideradas 3 profundidades de avaliação (0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm); serão apresentadas somente as conclusões estabelecidas para as 3 profundidades em conjunto. Os resultados obtidos com parcelas reais de 0,9 m x 0,9 m e parcelas simuladas de 6 m x 6 m mostraram variâncias similares, indicando níveis similares de precisão;

os autores não justificaram esta observação e é possível que apresente pouca validade na medida em que as parcelas maiores foram simuladas mantendo-se os padrões de dispersão observados nas parcelas menores. Considerando ainda os resultados obtidos para as 36 sub-unidades, os autores simularam 4 diferentes sistemas de amostragem: **primeiro sistema (S1)** - 8 sub-unidades foram selecionadas de forma aleatória; **segundo sistema (S2)** - as 8 sub-unidades foram selecionadas de forma a agruparem-se 2 a 2, sendo unidas por uma aresta; **terceiro sistema (S3)** - as 8 sub-unidades foram selecionadas de forma a estabelecer dois quadrados de 0,3 m x 0,3 m; **quarto sistema (S4)** - as oito sub-unidades foram selecionadas de forma a estabelecer dois retângulos de 0,15 m x 0,6 m. Considerando somente o primeiro sistema de amostragem, as variâncias tornaram-se progressivamente maiores com o aumento das densidades populacionais de *E. repens*. De forma geral, fixando-se o número de pontos de amostragem, as variâncias obtidas com os quatro sistemas foram bastante próximas; quando ocorreram diferenças, os sistemas puderam ser dispostos na seguinte ordem crescente quanto às variâncias obtidas: S1 < S2 < S4 < S3; ou seja, quanto maior a proximidade entre as sub-unidades selecionadas, maiores as variâncias e menor o nível de precisão dos levantamentos. Em todas as situações estudadas, a precisão dos levantamentos mostrou-se progressivamente crescente com o aumento do número de pontos de amostragem, não havendo estabilização; assim, os autores salientaram que o número de pontos de amostragem deve ser selecionado considerando-se em conjunto o nível mínimo de precisão a ser alcançado e as quantidades de recursos disponíveis. Em termos metodológicos, os autores mencionam que os ajustes entre o número de pontos de amostragem e o logaritmo da variância mostraram-se bastante satisfatórios para a representação da relação entre estas duas características; para cada condição experimental considerada, foram realizadas 1000 simulações envolvendo a seleção aleatória de grupos distintos de sub-unidades para compor cada amostra.

STANIFORTH et al. (1965) tiveram por objetivo estudar e comparar procedimentos de amostragem utilizados para a estimativa dos acúmulos de matéria seca de *Setaria glauca* presentes em parcelas de milho. Os autores já destacavam a necessidade de desenvolvimento de sistemas de amostragem com elevada eficiência em função do elevado custo do processo de amostragem de plantas daninhas. Os estudos foram realizados em uma área com alta infestação (acúmulo médio de matéria seca 2634 kg / ha) e outra com infestação menor (acúmulo médio de matéria seca de 527 kg / ha), envolvendo 39 e 30 parcelas, respectivamente. As parcelas corresponderam a 2 linhas da cultura com 9,84 m de comprimento. Os acúmulos de matéria seca foram avaliados individualmente nos 30 possíveis segmentos de linha com 0,98 m de comprimento em cada parcela; de posse destes resultados, os autores simularam a realização de amostragens em 5, 10, 20, 25, 40, 50, 60, 75, 80 e 100 % das parcelas, utilizando os seguintes tipos de unidades de amostragem: 1 ou 2 linhas com 0,984 m de comprimento; 1 ou 2 linhas com comprimento de 1,968 m; 1 ou 2 linhas com 4,92 m de comprimento; e 1 ou 2 linhas com 9,84 m de comprimento, sendo que a última condição correspondeu à parcela toda. Nem todas as combinações entre as intensidades de amostragem (5 a 100 %) e tipos de unidades de amostragem puderam ser estabelecidas; por exemplo, a partir de unidades compostas por 1 segmento com 9,84 m de comprimento, só foi possível estabelecer intensidades de amostragem correspondentes a 50 e 100 % da parcela toda. Foram calculadas as variâncias observadas para os 2 conjuntos de parcelas (alta e baixa densidade de plantas daninhas), considerando-se as várias intensidades de amostragem (5 a 100 %) e os vários tipos de unidades de amostragem. Para comparação das variâncias obtidas, os autores definiram a característica **p**, como sendo a proporção entre a variância obtida com o uso de 100 % da área da parcela e a variância obtida na condição em estudo (combinação entre tipo de unidade e intensidade de amostragem); quanto maior a proximidade de **p** a 1, maior a precisão do sistema de amostragem utilizado. Os valores de **p** variaram entre 0,26 e 0,96 e entre 0,21 e 0,95 para as áreas com maior e menor infestação, respectivamente; os valores mínimos e máximos foram observados quando a amostragem foi realizada em 5 e 80 % da área das parcelas, respectivamente. Segundo os autores, o efeito do tipo de unidade de amostragem foi pequeno se comparado ao efeito da intensidade de amostragem; contudo, a análise dos resultados evidenciou que, fixando-se a intensidade de amostragem, foi possível, na quase totalidade das situações, elevar os valores de **p** reduzindo-se as dimensões das unidades de amostragem. Por exemplo, a amostragem de 50 % da área das parcelas pode ser feita, dentre várias maneiras, coletando-se as plantas daninhas presentes em um segmento de linha com 9,84 m de comprimento ou em 10 segmentos de 0,984 m; considerando-se, respectivamente, as

2 áreas com maior e menor incidência de plantas daninhas, os valores de **p** foram elevados de 0,73 a 0,87 e de 0,73 a 0,83, com o uso das menores unidades de amostragem.

Em termos de Brasil, possivelmente o trabalho mais completo sobre amostragem de plantas daninhas é o desenvolvido por Velini (1995). O estudo foi conduzido em Botucatu – SP – Brasil buscando estabelecer as condições para melhor estudar e representar uma população de *Brachiaria plantaginea* em área de cultivo de culturas anuais. Foram comparados 8 formatos de quadros de amostragem, para levantamentos de plantas daninhas; foram utilizados 6 tamanhos de quadrados (0,1 m x 0,1 m; 0,2 m 0,2 m; 0,4 m x 0,4 m; 0,6 m x 0,6 m; 0,8 m x 0,8 m e 1,0 x 1,0 m) além de um amostrador em forma de moldura e outro em forma de cruz, ambos com área de 0,36 $m^2$. A partir dos resultados obtidos, o autor observou que as medidas de posição mostraram-se efetivamente características da população, ao passo que as medidas de dispersão caracterizaram a população e o sistema de amostragem utilizado. É possível a realização de levantamentos precisos com qualquer tipo de amostrador, desde que o número de pontos de amostragem seja adequadamente estabelecido. O uso de quadros de amostragem com maior heterogeneidade interna ou com menor área unitária, permitiu grandes reduções na área total amostrada para que um mesmo nível de precisão dos levantamentos fosse alcançado. A variabilidade das condições pontuais amostradas mostrou-se mais importante do que a área do amostrador, para definição das características do levantamento. O autor observou ainda que quando se utilizou um número insuficiente de repetições, ocorreu uma grande interferência do acaso nas estimativas de medidas de posição e de dispersão. Também ficou claro que a partir de determinados números de repetições, o acréscimo de novos pontos de amostragem não resultaram em ganhos substanciais em termos de qualidade dos resultados, embora tais ganhos tenham sempre ocorrido. A seleção do tamanho ou formato adequado do quadro de amostragem pode permitir drásticas reduções na quantidade de trabalho gasta na realização de um levantamento, ou na melhoria dos resultados obtidos; o inverso também é verdadeiro.

## *Procedimentos de amostragem de plantas daninhas em experimentos para a a avaliação da eficácia de herbicidas e outras práticas de controle.*

Segundo AZZI & FERNANDES (1968) o efeito dos herbicidas sobre as plantas daninhas pode ser avaliado de diversas formas. As principais características avaliadas referem-se à densidade de plantas daninhas vivas (sobreviventes ao controle) ou mortas, o peso das plantas daninhas presentes em cada parcela, altura e estágio de desenvolvimento, porcentagem de cobertura da área ou a necessidade de trabalho para a eliminação das mesmas. Os autores observaram que todos estes métodos são extremamente laboriosos, demorados e pouco precisos; os critérios de avaliação, normalmente desuniformes nos vários trabalhos dificultam sobremaneira a confrontação de resultados. HOLSTUN & McWHORTER (1961) e AZZI & FERNANDES (1968) observaram que os resultados obtidos normalmente apresentam grande desuniformidade, condicionando coeficientes de variação freqüentemente superiores a 20 %, para todos estes tipos de medidas. Mencionaram ainda que estas dificuldades têm se constituído nas maiores justificativas para o uso de sistemas visuais de avaliação. Avaliações visuais podem estar sujeitas a erros por parte do avaliador (HOLSTUN & McWHORTER, 1961; AZZI & FERNANDES, 1968), mas são levadas a termo considerando a totalidade da área das parcelas, minimizando os erros de amostragem (HOLSTUN & McWHORTER, 1961; HAMILL et al., 1977).

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura referem-se ao estudo ou comparação de diferentes intensidades de amostragem das plantas daninhas, quando o efeito de herbicidas de pré-emergencia é avaliado através das densidades de plantas daninhas presentes nas áreas tratadas (sobreviventes ao herbicida) e em áreas não tratadas (testemunhas).

ARRUDA & LEIDERMAN (1962) observaram que, quando as densidades de plantas daninhas são estimadas utilizando-se amostragens, o erro utilizado para testar a significância da diferença entre 2 médias tem 2 componentes: **a** - o erro devido à variação entre as amostras de uma mesma parcela (canteiros para os autores); **b** - o erro devido à variação entre as parcelas de um mesmo tratamento, referido como erro experimental. Os autores salientaram que o desenvolvimento de métodos experimentais mais eficientes depende da adequada avaliação da magnitude destes 2 tipos de erros. Com este objetivo, conduziram

um experimento considerando a aplicação de 5 herbicidas pré-emergentes na cultura da batata; um sexto tratamento, testemunha sem capina, foi incluído para referenciar as avaliações. Foram utilizadas parcelas de 17,6 $m^2$, correspondendo a 5 linhas da cultura com 4,4 m (11 covas) de comprimento; o espaçamento entre as linhas foi de 0,8 m. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com 4 repetições. Para avaliar o erro de amostragem, foram contadas as plantas daninhas presentes em 0,09 $m^2$ (quadrado de 0,3 m x 0,3 m) posicionados em cada uma das cinco linhas de cada parcela. As espécies de plantas daninhas predominantes na área experimental foram *Melinis minutiflora* (capim-gordura) e *Amaranthus* sp (caruru). Todos os resultados obtidos foram transformados a **(x+1)**. Para as 2 espécies, os erros de amostragem **a** foram menores do que os erros experimentais **b**; os autores não apresentaram claramente o procedimento utilizado para que esta conclusão fosse alcançada. Os coeficientes de variação obtidos para o capim-gordura e o caruru foram de 30 e 35 %, respectivamente. Segundo os autores, os resultados obtidos não permitiram decidir com segurança pela superioridade ou inferioridade de alguns tratamentos em relação a outros, principalmente quando ocorreram pequenas diferenças entre os números de plantas sobreviventes ao controle.

IGUE et al. (1974) instalaram um experimento com o objetivo de determinar o número mínimo de amostras a serem tomadas em experimentos com herbicidas, para a avaliação das densidades das plantas daninhas remanescentes na área após a aplicação. Foram considerados 4 tratamentos, correspondentes a uma testemunha sem controle da comunidade infestante e os herbicidas trifluralina, atrazina e 2,4-D aplicados, respectivamente, em pré, pré e pós-emergência das plantas daninhas; cada herbicida foi aplicado em uma única dose. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 5 repetições. As parcelas apresentaram área de 12,5 $m^2$; as dimensões lineares das mesmas não foram apresentadas no trabalho. Foram contadas as plantas daninhas presentes em 25 amostras de 0,2 $m^2$ por parcela. De posse de todos os resultados, os dados foram então combinados de forma a simular a obtenção dos resultados a partir de 3, 4, 5, 10, 15, 20 e 25 amostras por parcela. Os números de 3 e 25 amostras por parcela corresponderam à realização das avaliações em 4,8 e 40 % da área das parcelas. Os resultados obtidos para cada número de amostras por parcela foram submetidos à análise de variância; as médias foram comparadas com o auxílio do teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. Quando foram consideradas somente plantas daninhas gramíneas, os resultados obtidos através da aplicação do teste de Tukey foram os mesmos, com o uso de quaisquer dos números de amostras por parcela. Para todo o conjunto de dicotiledôneas, a utilização de 3 amostras por parcela proporcionou a obtenção de resultados distintos dos obtidos com o uso de 4, 5, 10, 15, 20 ou 25 amostras por parcela; considerando-se 4 ou mais amostras por parcela, os resultados foram sempre similares. Houve a necessidade de avaliar entre 4,8 e 6,4 % da área das parcelas, quando o objetivo foi representar plantas daninhas gramíneas e dicotiledôneas, respectivamente; os autores estabeleceram uma recomendação geral de que as amostragens devem ser realizadas em aproximadamente 5 % da área tratada.

O trabalho realizado por PERECIN et al. (1976) teve como objetivo comparar 2 distintos procedimentos para a amostragem de plantas daninhas em experimentos com herbicidas. Foi instalado um experimento com um total de 13 tratamentos correspondentes a uma testemunha e outros 12 tratamentos com a aplicação de herbicidas de pré ou pós-emergência à cultura da cana-de-açúcar. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com 4 repetições. Cada parcela correspondeu a uma área de 33 $m^2$, considerando-se 20 $m^2$ como área útil para avaliações. Foram testados 2 métodos de amostragem: Método **a** - coleta de 4 amostras de 0,5 $m^2$ por parcela; Método **b** - coleta de 20 amostras de 0,1 $m^2$ por parcela. Nos 2 métodos foram contadas todas as plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas presentes na área avaliada; as maiores densidades populacionais foram verificadas para a classe das monocotiledôneas. Previamente à análise de variância, os dados foram transformados a **(x+0.5)**. Os resultados das análises indicaram que os quadrados médios do resíduo (QMR) obtidos tanto para mono quanto para dicotiledôneas, foram menores quando se utilizou o método **b** (maior número de amostras com menores dimensões); a utilização deste método condicionou maior precisão para as avaliações das 2 classes de plantas. Os autores calcularam também o número de amostras por parcela a ser considerado para que um determinado nível de estabilidade da variância da média fosse alcançado; na ausência de informações prévias, os autores consideraram que a aceitabilidade havia sido alcançada quando a inclusão de uma nova amostra implicava em modificações desta característica inferiores a um milésimo da média geral; este estudo foi realizado somente para o método de amostragem **b**,

considerando possíveis experimentos com números de blocos entre 2 e 9. Os autores concluíram que, quando o número de blocos é igual ou superior a 4, o número máximo de amostras necessárias para que o critério de estabilidade fosse atingido foi de 6 e 10, para dicotiledôneas e monocotiledôneas, respectivamente; estes resultados indicaram a necessidade de avaliar no máximo 3 e 5 % da área útil das parcelas, também de forma respectiva, para que as densidades destas 2 classes de plantas pudessem ser adequadamente representadas.

HOLSTUN & McWHORTER (1961) realizaram um trabalho de pesquisa cujo objetivo foi estudar e comparar diferentes métodos de avaliação da eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência, em algodão. Foram considerados 16 tratamentos correspondentes a 2 herbicidas aplicados em 7 diferentes doses e 2 outros tratamentos (testemunhas) em que as plantas daninhas foram capinadas ou cultivadas mecanicamente; o número total de parcelas por bloco foi de 22, na medida em que as testemunhas foram repetidas 4 vezes em cada bloco. Foi utilizado o delineamente de blocos casualizados com 4 repetições, totalizando 88 parcelas. Cada unidade experimental correspondeu a 2 linhas da cultura, espaçadas 1,016 m, com comprimento de 24,14 m. O mesmo experimento foi conduzido 3 vezes, em datas diferentes. Foram avaliadas as densidades e peso fresco das plantas daninhas presentes em 4 quadros de 1,93 m x 0,254 m (0,49 $m^2$) por parcela; o tempo necessário para capinar cada uma das unidades experimentais; estimativas visuais das densidades populacionais e das porcentagens de cobertura do solo; avaliações visuais das porcentagens de controle (referenciadas pelas testemunhas); e a produtividade da cultura. Dentre as características selecionadas para avaliar a abundância das plantas daninhas, a mais estável foi o tempo de capina. As características que apresentaram maior variabilidade foram os dados de contagem e peso fresco das plantas daninhas; os autores salientaram que as contagens e coletas de plantas daninhas consomem tanto tempo que normalmente são realizadas em apenas uma pequena fração das parcelas, introduzindo o erro de amostragem como uma importante fonte de variabilidade dos resultados. Outro aspecto a ser ressaltado é que os níveis de variabilidade dos resultados foram similares em áreas tratadas e não tratadas, havendo proporcionalidade entre as variâncias e as médias dos tratamentos, sendo necessária a transformação dos dados a **log x,** para que as análises de variância pudessem ser realizadas sem limitações**.** A correção dos resultados referentes aos tempos de capina em função dos valores observados nas testemunhas mais próximas a cada uma das parcelas, muito pouco reduziu a variabilidade dos resultados, de forma que os autores concluíram que teria sido mais interessante o uso de apenas uma parcela de cada testemunha nos blocos, permitindo o aumento de uma repetição no ensaio e a redução do número total de parcelas para 80; ou seja, os pesquisadores seguramente trabalhariam menos e provavelmente obteriam resultados de melhor qualidade.

ARRUDA & SANTOS (1968) conduziram experimentos com o objetivo de avaliar a eficácia de vários herbicidas. Para reduzir a variabilidade dos resultados, os autores incluíram uma área testemunha para cada parcela com aplicação de herbicidas. Foram realizados 8 experimentos, sendo que nos 5 primeiros foram constituídas parcelas de 1,6 m x 3,0 m (4,8 $m^2$), nos 3 últimos o tamanho das parcelas foi de 4,8 m x 1,5 m (7,2 $m^2$); metade da área de cada parcela recebeu tratamento e a outra metade foi utilizada como testemunha. Os autores não mencionaram os herbicidas utilizados, ou mesmo o número de tratamentos considerados; também não foram apresentados resultados referentes aos níveis de controle alcançados. A análise dos resultados referentes às densidades populacionais de *Galinsoga parviflora* (picão-branco) e *Amaranthus* sp (caruru-de-folha-larga, segundo os autores) verificadas nas testemunhas foram submetidos à análise de variância, após transformação a **log x**. Os coeficientes de variação oscilaram entre 3,9 e 35,3 % e entre 1,7 e 30 %, para *G. parviflora* e *Amaranthus* sp, respectivamente; em função destes valores, os autores concluíram pela relativa uniformidade das 2 espécies nas áreas estudadas. Os autores interpretaram a ocorrência de significância para o **F** de blocos, como indicativo de irregularidade de distribuição das espécies estudadas; tal significância foi verificada em 4 e 5 experimentos, para *G. parviflora* e *Amaranthus* sp, respectivamente. Não foram estabelecidas conclusões objetivas sobre a necessidade ou não da utilização de testemunhas laterais.

KEULS et al. (1967) observaram que a avaliação da eficácia de herbicidas de pré-emergência normalmente é bastante difícil, na medida em que não se conhecem as densidades originais das várias espécies de plantas daninhas nas parcelas; como as densidades geralmente são muito variáveis e a distribuição é desuniforme, há a necessidade de considerar um grande número de repetições para que os resultados se mostrem confiáveis. Os autores propuseram a utilização de áreas testemunha (sem aplicação de herbicidas), ao

redor ou ao lado das áreas que efetivamente foram tratadas, sendo o objetivo das áreas testemunha, somente o de referenciar as avaliações realizadas, permitindo corrigir parcialmente os erros resultantes da distribuição irregular das plantas daninhas no campo. Para avaliar a eficiência do sistema experimental proposto, os autores conduziram 5 experimentos, nos quais foram considerados 3 tratamentos correspondentes à aplicação de diallate ou triallate na dose de 3 l / ha (os autores não esclarecem se a dose refere-se aos ingredientes ativos ou aos produtos comerciais), além de uma testemunha em que as plantas daninhas foram controladas por capinas. O objetivo dos tratamentos foi o controle de *Avena fatua*. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 5 repetições, em todos os experimentos. As dimensões das parcelas com tratamento foram de 2 m x 10 m; cada área tratada tinha a seu lado 2 áreas testemunha com 1 m x 10 m; foram contadas as panículas de *Avena fatua* presentes em 1 $m^2$ de cada área tratada ou testemunha. Quando foram analisados os resultados obtidos nas áreas tratadas somente, os valores dos **F** de blocos foram bastante altos; os coeficientes de variação oscilaram entre 24 e 113 %, com média de 50 %. Quando os dados foram expressos em porcentagem dos valores observados nas áreas testemunha, os valores dos F de blocos foram drasticamente reduzidos, indicando que os efeitos da desuniformidade de infestação foram corrigidos em parte; os coeficientes de variação oscilaram entre 24 e 50 %, com média de 35 %. Embora os autores não tenham testado esta alternativa, mencionaram a possibilidade de que testemunhas sejam estabelecidas internamente às parcelas que recebem tratamento com herbicidas; tais testemunhas poderiam ser criadas cobrindo-se parte da área das parcelas quando da aplicação dos herbicidas.

Em termos de Brasil, novamente um dos trabalhos mais completos corresponde ao desenvolvido por Velini (1995). O estudo foi conduzido em Botucatu – SP – Brasil buscando estabelecer as condições para melhor estudar e representar uma população de Brachiaria Plantaginea em área de cultivo de culturas anuais. foram estudadas as combinações entre 5 sistemas experimentais, 8 ou 16 intensidades de amostragem nas parcelas e números de repetições variando de 2 a 10. A partir de avaliações de densidades de *B. plantaginea,* simulou-se a constituição de experimentos para cada uma das 284 combinações testadas, considerando supostos herbicidas com porcentagens reais de controle de 50, 60, 70, 80, 85, 90, 93, 96 e 99%. Foram considerados os seguintes sistemas experimentais: **Sistema 1**: testemunhas convencionais com o cálculo das porcentagens de controle a partir das densidades médias de *B. plantaginea* obtidas para cada tratamento em todo o experimento; **Sistema 2**: testemunhas convencionais, mas o cálculo das porcentagens de controle foi feito para cada bloco; **Sistema 3**: testemunhas laterais; **Sistema 4:** testemunhas internas às parcelas; **Sistema 5:** testemunhas internas aos quadros de avaliação. Quanto maior a proximidade entre as áreas utilizadas para estimar as densidades originais de *B. plantaginea* e as áreas destinadas à avaliação das densidades populacionais remanescentes após a suposta aplicação de herbicidas, menores foram os coeficientes de variação e a variabilidade das estimativas das médias. O aumento da área amostrada mostrou-se mais eficiente em termos de redução da variabilidade dos resultados, do que o aumento do número de repetições dos experimentos. Os sistemas experimentais estudados podem ser dispostos na seguinte ordem crescente em termos de coeficientes de variação: Sistema 5 < Sistema 4 < Sistema 3 < Sistema 2 < Sistema 1. Os sistemas experimentais estudados podem ser dispostos na seguintes ordem crescente em termos de estabilidade e precisão das estimativas das médias: Sistema 2 < Sistema 1 < Sistema 3 < Sistema 4 < Sistema 5. A precisão das estimativas das médias obtidas mostrou-se inversamente proporcional às porcentagens reais de controle consideradas. Para todas as condições estudadas, foi impossível estimar, com a adequada precisão, o nível de eficiência de herbicidas com porcentagens reais de controle inferiores a 70 %. Os maiores erros ocorreram para os supostos tratamentos com menores porcentagens reais de controle, destacando-se os três primeiros tratamentos, em que esta característica situou-se entre 50 e 70%; em algumas situações os limites máximos para os intervalos que contiveram as estimativas das médias destes tratamentos estiveram acima de 80%.

ARRUDA, H.V.de, LEIDERMAN, L. **Amostragem em experimentos com herbicidas de "pré-emergência". In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS, 4, REUNIÃO LATINOAMERICANA DE LUTA CONTRA AS ERVAS MÁS, 1, 1962,** Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura-Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, 1962. p.444-48.

ARRUDA, H.V. de, SANTOS, C.A.L. **Estudo comparativo da dispersão de duas ervas - picão -branco Galinsoga parviflora Cav. e caruru de folha larga - Amaranthus hybridus L. em áreas experimentais. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS,** 6, 1966, Sete Lagoas. Anais... Sete Lagoas: Fundo Federal Agropecuário- Ministério da Agricultura - Conselho Nacional de Pesquisas, Sociedade Brasileira de Herbicidas e Ervas Daninhas, 1968. p.17-20.

AZZI, G.M., FERNANDES, J. **Método de julgamento do efeito herbicida. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS,** 6, 1966, Sete Lagoas. Anais... Sete Lagoas: Fundo Federal Agropecuário- Ministério da Agricultura - Conselho Nacional de Pesquisas, Sociedade Brasileira de Herbicidas e Ervas Daninhas, 1968. p.21-29.

BERTI, A. et al. **Frequency distribution of weed counts and applicability of a sequential sampling method to integrated weed management.** Weed Research. v.32, p.39-44, 1992.

CONN, J.S., CHARLES, H.P., SKROCH, W.A. **Selection of sampling methods to determinate weed abundance in apple (Malus domestica) orchards.** Weed Science, v.30, p.30-5, 1982.

HAMILL, A.S., MARRIAGE, P.B., FRIESEN, G. **A method for assessing herbicide performance in small plot experiments.** Weed Science, v.25, p.386-89, 1977.

HOLSTUN, J.T., McWHORTER, C.G. **Methods of evaluating pre-emergence herbicides for cotton.** Weeds, v.9, p.527-37, 1961.

IGUE, T., FORSTER, R., DEUBER, R. **Amostragem mínima em contagem de ervas em experimentos com herbicidas. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E ERVAS DANINHAS,** 10, 1974, Santa Maria. Anais... Santa Maria, 1974. p.54-5.

KEULS, M. et al. **An experimental design for field evaluation of pre-emergence herbicide treatments.** Weed Research., v.7, p. 234-38, 1967.

LEMIEUX, C., CLOUTIER, D.C., LEROUX, G.D. **Sampling quackgrass (Eltrigia repens) populations.** Weed Science, v.40, p.534-41, 1992.

MARSHALL, E.J.P. **Field-scale estimates of grass weed populations in arable land.** Weed Research, v.28, p.191-8, 1988.

MAXWELL, B.D., GHERSA, C. **The influence of weed seed dispersion versus the effect of competition on crop yield.** Weed Technology, v.6, p.196-204, 1992.

MUELLER-DOMBOIS, D., ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology.** New York: Wiley, 1974. 547 p.

NAVAS, M.L. **Using plant population biology in weed research: a strategy to improve weed management.** Weed Research, v.31, p.171-79, 1991.

PERECIN, D., VICTORIA-FILHO, R., ANTIQUEIRA, L.R. **Amostragem para avaliação de herbicidas em cana-de-açúcar. Científica (Jaboticabal),** v.4, p.211-16, 1976.

PERECIN, D., BARBOSA, J.C. **Amostragem e análise estatística de dados de distribuição de contágio. Rev. Mat. Estat.,** (São Paulo), v.10, p.207-16, 1992.

PERECIN, D., FERNANDES, E.J. **Métodos de amostragem para dados com distribuições discretas de contágio.** Rev. Mat. Estat.,(São Paulo), v.9, p.119-23, 1991.

POST, B.J. **Multivariate analysis in weed science.** Weed Research, v.28, p.425-30, 1988.

RUESINK, W.G., KOGAN, M. **The quantitative basis of pest management: sampling and measuring. In: METCALF, R. L., LUCKMANN, W.H. Introduction to insect pest management.** New York: Wiley, 1975. p.309-52.

SHARMA, B.M. **A phytosociological study of a weed community in Fallow Land in the Semi-arid zone of India.** Weed Science, v.29, p.287-91, 1981.

STANIFORTH, D.W., LOVELY, W.G., CADY, F.B. **Sampling procedures for estimates of weed yields in corn plots.** Weeds, v.13, p.357-60, 1965.

TAYLOR, L. R. **Aggregation, variance and the mean. Nature,** v.189, p.732-5, 1961.

THORNTON, P.K. et al. **Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control.** Crop Protection, v.9, p.337-42, 1990.

VELINI, E. D. **Estudo e desenvolvimento de métodos experimentais e amostrais adaptados à matologia.** 1995. 250 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1995.

WILES, L.J. et al. **Modelling weed distribution for improved post-emergence control decisions.** Weed Science, v.40, p.546-53, 1992a.

WILES, L. J. et al. **Spatial distribution of broadleaf weeds in North Carolina soybean (Glycine max) fields.** Weed Science, v.40, p.554-57, 1992b.

ZIMMERMANN, H.G. **Herbicidal control in relation to ditribution of Opuntia aurantiaca Lindley and effects on cochineal populations.** Weed Research, v.19, p.89-93, 1979.

# Comportamento de Herbicidas no Solo

Arquimedes Lavorenti

**1 Professor Titular; Departamento de Ciências Exatas - Química; ESALQ/USP; Av. Pádua Dias, 11 - 13418-900 - Piracicaba - SP; e-mail: lavorenti@usp.br**

## Introdução

Herbicidas são moléculas orgânicas utilizadas em sistemas agrícolas para combaterplantas daninhas e proteger plantas de interesse econômico e social. Tais moléculas sãoconsideradas xenobióticas por serem sintetizadas pelo homem e estranhas ao meio ambiente.

Por terem a particularidade de proteger certos seres vivos contra outros seres vivosindesejáveis, estas moléculas devem ter atividade toxicológica; por essa razão, ao entrarem noambiente os herbicidas podem estar em condições de afetar negativamente "não alvos", tais como o próprio homem, animais silvestres, insetos úteis e sistemas aquosos representados pelos rios, lagos, lençóis freáticos etc.

É muito importante conhecer o comportamento de herbicidas no solo porque a maior parte da quantidade aplicada no campo não atinge o alvo (o ponto crítico dentro da planta daninha onde o herbicida deve atuar e fazer com que tenha certa eficiência) e, então, a molécula de herbicida atinge o solo e pode ter efeitos colaterais indesejáveis.

O que ocorre com a molécula de herbicida no solo? Qual o seu comportamento no solo? Qual será afinal seu destino?

São estas as perguntas que tentaremos responder.

Inicialmente vamos definir comportamento de uma molécula de herbicida.

Comportamento humano é decorrente da associação da carga genética herdada dos pais (DNA) e do ambiente em que viveu e vive. Isto faz com que o ser humano desempenhe certo papel e se inter-relacione de certa maneira com os demais seres humanos que convivem ao seu redor. Tanto a carga genética como o ambiente são importantes para a manifestação do comportamento de um ser humano.

Por analogia, podemos dizer que uma molécula de herbicida tem comportamento ou se inter-relaciona em certo solo, em função de sua natureza química, produto de sua síntese, e das condições dos componentes do solo em que ela se encontra. Assim, tanto a natureza química do herbicida quanto atributos do solo em que ele é aplicado são importantes para a análise de seu comportamento.

Cada herbicida sintetizado, em função dos átomos que o compõe e do arranjo como eles são distribuídos na molécula, apresenta uma série de propriedades físico-químicas que lhe são inerentes. Isto caracteriza uma molécula de herbicida.

É próprio de cada molécula de herbicida, como também ocorre com qualquer espécie química, ter um potencial químico reativo que vai poder se manifestar assim que for colocado em contato com outra(s) espécie(s) química(s) ou ser disponibilizada no ambiente.

Não podemos deixar de lembrar que o solo também é constituído de uma série de componentes os quais, por sua vez, são espécies químicas de natureza diversa.

Duas situações podem ocorrer quando uma molécula de herbicida é aplicada no campo: inicialmente manifesta-se a fugacidade (Figura 1), processo responsável pela distribuição da molécula em todos os compartimentos ao seu redor, visando-se ao estabelecimento de um equilíbrio químico. A molécula de herbicida se distribui ou se particiona do local onde ela está mais concentrada para o local onde ela está menos concentrada. Essa partição também é influenciada pela afinidade existente entre a molécula de herbicida e os quatro compartimentos do ambiente (atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera).

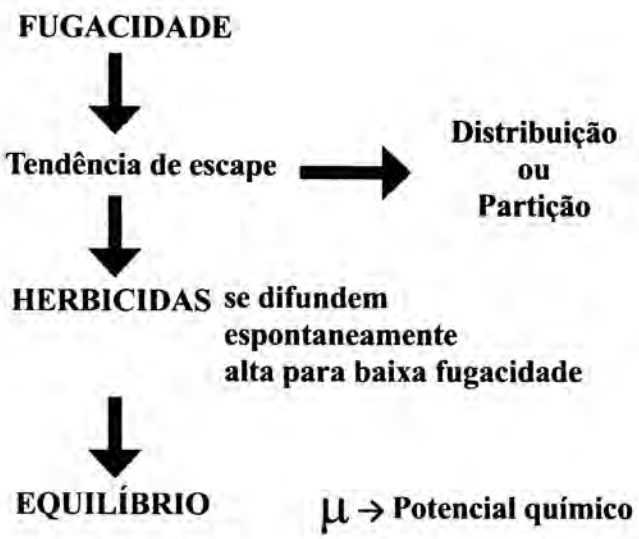



*Figura 1. Fugacidade de uma molécula de herbicida no ambiente (Lavorenti, 2002).*

Após a molécula de herbicida ter-se particionado, vai poder ocorrer uma reação química ou interação, pois todas as espécies químicas tem um potencial químico reativo, que culmina com a manifestação do seu comportamento e destino final.

Como as interações entre as espécies químicas ocorrem em função da natureza (tipo de grupos funcionais) e da quantidade (concentração) de espécies químicas envolvidas, é de se esperar também que fatores externos a esta interação possam influenciar significativamente ou não os resultados da interação, culminando com comportamento e destino da molécula de herbicida particularizados para cada situação.

Para conhecer o comportamento de uma molécula de herbicida no solo vamos tomar por base alguns conceitos de química.

Se tivermos uma reação química geral em que dois reagentes entram em contato para interagir, pode haver a formação de um ou mais produtos desta reação. De um modo geral, podemos simbolizar esta interação por:

Reagente A + Reagente B $\longleftrightarrow$ Produto C + Produto D

Se a reação química estiver em equilíbrio e se conhecermos a identidade de todos os componentes envolvidos e suas respectivas concentrações, podemos estabelecer a seguinte relação entre todos eles:

$$Keq = \frac{[C]\,[D]}{[A]\,[B]} = \text{Constante de equilíbrio (Valor constante a uma certa temperatura)}$$

Esta relação foi desenvolvida por Guldberg e Waage em 1864 para ser usada em reações químicas em equilíbrio e é conhecida como lei da ação das massas. Em função desta relação podemos saber exatamente qual será o comportamento de cada espécie química frente às demais.

Por analogia, também podemos estabelecer a seguinte relação entre uma molécula de herbicida e o solo:

Molécula de Herbicida + Solo $\longleftrightarrow$ Produtos da interação (?)

Dificilmente um equilíbrio químico é obtido em condições reais no solo, pois o mesmo é dinâmico e está em constante alteração. O solo é considerado um sistema aberto e é afetado por fatores climáticos e práticas culturais.

No entanto, se conhecermos a identidade química da molécula de herbicida, a qual tem seu princípio ativo associado a outros componentes da formulação (que na maioria das vezes são substâncias de natureza química conhecida apenas pelas indústrias), podemos ter uma ideia do provável comportamento de uma molécula de herbicida no solo quando os dois estão interagindo. Lembrando que o solo pode ser muito bem caracterizado quimicamente através de técnicas analíticas disponíveis atualmente e que ele também é formado por quatro "fases" distintas: sólida, líquida (aquosa), gasosa e de seres vivos (orgânica).

Dificilmente conseguimos visualizar o comportamento de uma molécula de herbicida no solo baseando-se apenas em reações químicas. As reações químicas se desenvolvem em escala microscópica e são de difícil mensuração. O provável comportamento de uma molécula de herbicida no solo é mais bem visualizado por meio dos processos de retenção, transformação e transporte aos quais ela pode estar sujeita (Figura 2). Tais processos, por se desenvolverem em escala macroscópica, são mais perceptíveis e, portanto, de efeitos mais facilmente mensuráveis.

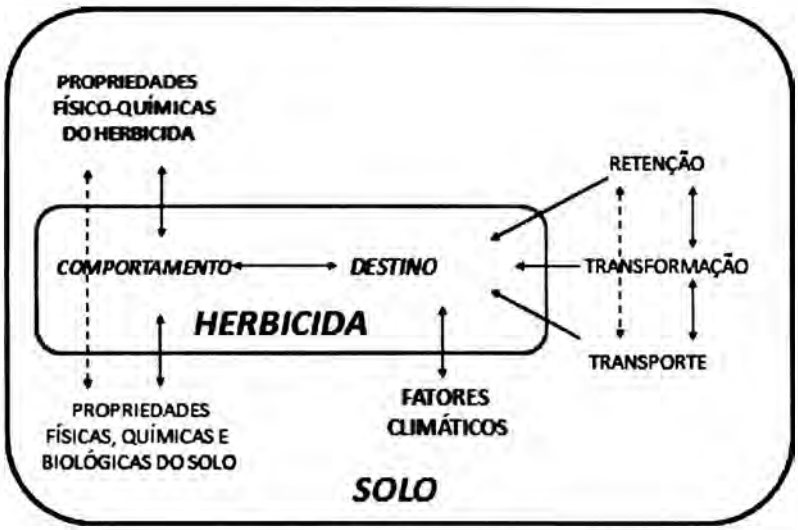



*Figura 2. Interação de uma molécula de herbicida com o solo (Lavorenti, 1996).*

Assim, quando uma molécula de herbicida é aplicada no campo, imediatamente os processos de transporte, retenção e transformação irão, concomitantemente, se manifestar podendo um interferir na manifestação do outro.

Conhecendo-se as principais propriedades físico-químicas da molécula de herbicida, que estão relacionadas ao seu comportamento no solo, ou seja: pressão de vapor, solubilidade em água, coeficiente de partição octanol-água, constante de ionização ácida ou base, constante da lei de Henry e meia vida, e, conhecendo-se as principais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, as quais são inúmeras, e, conhecendo-se ainda os fatores climáticos que estão se manifestando no momento da interação herbicida-solo, pode-se, com certa probabilidade de acerto, dizer qual será o provável comportamento do herbicida no solo e qual será também o seu provável destino.

Devido à grande complexidade existente, os cientistas não podem determinar exatamente o que irá acontecer com uma molécula de herbicida em particular quando ela entra no solo. Eles podem dividir os herbicidas em categorias gerais no que diz respeito, por exemplo, à persistência e ao potencial de contaminação do lençol freático; adicionalmente podem também indicar onde o herbicida pode ser encontrado em maior concentração.

O provável destino do herbicida no solo se compara a teoria de Werner Heisenberg, conhecida como Princípio da Incerteza segundo o qual "é impossível fixar a posição de um elétron em um átomo e sua energia com qualquer grau de certeza se o elétron for descrito como uma onda". Isto ocorre devido a dualidade onda-partícula, a qual faz com que a determinação exata de sua posição implique em incerteza quanto ao valor de sua energia e vice-versa. Ao estudarmos o comportamento de um herbicida no solo confrontamos também com ocorrência de três processos: retenção, transformação e transporte, onde poderemos indicar, ao final do estudo, qual será o processo mais provável de ocorrer em maior intensidade, sem descartar a possibilidade dos outros dois ocorrerem. Isto também gera certa incerteza.

Estudos sobre o comportamento dos herbicidas no solo têm sido feitos principalmente em condições laboratoriais com o envolvimento de moléculas de herbicidas radioativas (radiomarcadas no carbono

da estrutura química da molécula numa posição mais estável ou não, dependendo do objetivo de cada estudo), condições estas que possibilitam fazer o balanço de massa final e saber com mais exatidão onde a molécula de herbicida e/ou seus metabólitos se encontram. Esta é uma possível explicação porque estudos eco toxicológicos de lixiviação, adsorção e transformação, exigidos pelos órgãos reguladores nacionais e internacionais, são feitos com moléculas radiomarcadas.

Sabendo que o comportamento de herbicidas no solo é mais bem visualizado através dos processos pelos quais eles estão sujeitos, então, os três processos serão discutidos mais detalhadamente.

## *Processo de retenção*

***Definição:*** O processo de retenção tem por objetivo reter e impedir que a molécula de herbicida se movimente e fique biodisponível. Este processo limita, porém não impede que os processos de transporte e transformação ocorram.

***Sorção:*** O termo sorção tem sido utilizado muitas vezes em substituição ao termo geral retenção e quando não se sabe ao certo se a molécula de herbicida foi adsorvida ou absorvida.

***Adsorção:*** Quando há o envolvimento de vários mecanismos de interação damolécula de herbicida, desde os mais fracos (forças de Wan der Waals) até os mais fortes (ligações químicas covalentes), que podem levar a formação dos chamados resíduos ligados, às superfícies das partículas sólidas do solo ou aos colóides do solo, o termo usado é adsorção.

***Dessorção***: O processo de dessorção é inverso ao de sorção ou adsorção e faz com que a molécula de herbicida seja liberada dos sítios de sorção e torne-se biodisponível. No entanto, a dessorção em si não informa se a molécula de herbicida foi dessorvida sem alteração na sua estrutura química ou como uma espécie química nova, a não ser que uma identificação química seja feita.

***Absorção:*** A absorção da molécula de herbicida por parte dos seres vivos vem a ser também um processo de retenção, uma vez que indisponibiliza a molécula de herbicida para ações futuras.

***Precipitação:*** O fenômeno da precipitação, onde há mudança de fase ou estado físico do líquido para o sólido, desde que condições para sua manifestação ocorram, também não deixa de ser um processo de retenção.

Aprisionamento ou "entrapment": O aprisionamento ou "entrapment" de moléculas de herbicidas, o qual consiste na retenção das mesmas no interior de constituintes do solo como, por exemplo, a matéria orgânica, também se caracteriza como um processo de retenção.

***Isotermas de adsorção:*** uma maneira de poder mensurar o processo de retenção é através das chamadas isotermas de adsorção, onde certa quantidade de solo é colocada em contato com uma solução de concentração conhecida da molécula de herbicida e agitada na forma de batelada ou "batch", até estabelecer um equilíbrio químico, a partir da qual é feito a determinação da concentração da molécula de herbicida na solução de equilíbrio e por diferença entre a concentração da solução inicial e a de equilíbrio se determina a quantidade de herbicida que ficou adsorvida. Este processo é repetido para várias concentrações de herbicidas e ao se fazer um gráfico com os valores obtidos resulta nas isotermas de adsorção.

A isoterma de adsorção que tem sido mais empregada aos estudos com herbicidas é a de Freundlich. Estudos desta natureza dão origem aos coeficientes de adsorção como $K_d$, $K_{oc}$ e $K_f$ por exemplo.

Devemos lembrar que a quantidade de sítios de adsorção no solo é muito grande comparado à quantidade de moléculas de herbicidas disponíveis e também, que no interior do solo o processo de retenção se assemelha a uma movimentação entre fases (Figura 3), isto é, a molécula de herbicida procura se difundir espontaneamente de uma fase para outra até alcançar o equilíbrio. Quando a fugacidade de uma molécula de herbicida em uma fase for igual à fugacidade em outra fase adjacente, a difusão cessa e o sistema é dito estar em equilíbrio.

Várias propriedades ou atributos do solo influenciam a sorção de herbicidas. Dentre estas estão incluídas principalmente os teores de matéria orgânica, minerais de argila, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, pH, teor de água e temperatura.

Dentre as propriedades físico-químicas das moléculas de herbicidas, podemos destacar que aquelas mais solúveis em água e com baixa constante de partição octanol-água, apresentam baixa retenção.

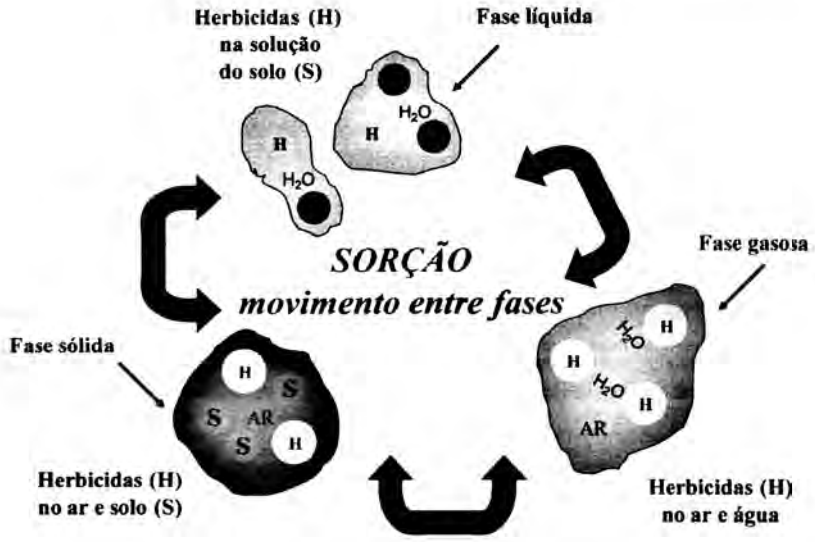



*Figura 3. Sorção de moléculas de herbicidas entre as várias fases do sistema solo.*

É importante salientar que a matéria orgânica é o principal componente do solo que determina sua capacidade de reter moléculas de herbicidas não iônicos e apolares, para os quais a partição com a matriz orgânica do solo é o mecanismo mais importante. Para herbicidas polares e ionizáveis, a interação com a matriz inorgânica do solo desempenha um papel significante, aumentando a ligação de moléculas de herbicidas catiônicos ao solo.

## *Processo de transporte*

O processo de transporte implica na movimentação da molécula de herbicida de um local de origem para outro local (Figura 4).

Se a molécula de herbicida está sendo aplicada no campo, já a partir de sua saída do bico de pulverização ela vai poder sofrer o processo de transporte sem antes mesmo atingir o solo, através da chamada deriva da aplicação, no qual as moléculas de herbicidas são levadas pelo vento para outros lugares onde ela não foi direcionada, podendo atingir outras áreas com possibilidades até de comprometer culturas susceptíveis, áreas de rios, lagos etc.

Se a molécula de herbicida já foi aplicada no campo e chegou até o solo, então teremos a manifestação deste processo de transporte a partir do solo.

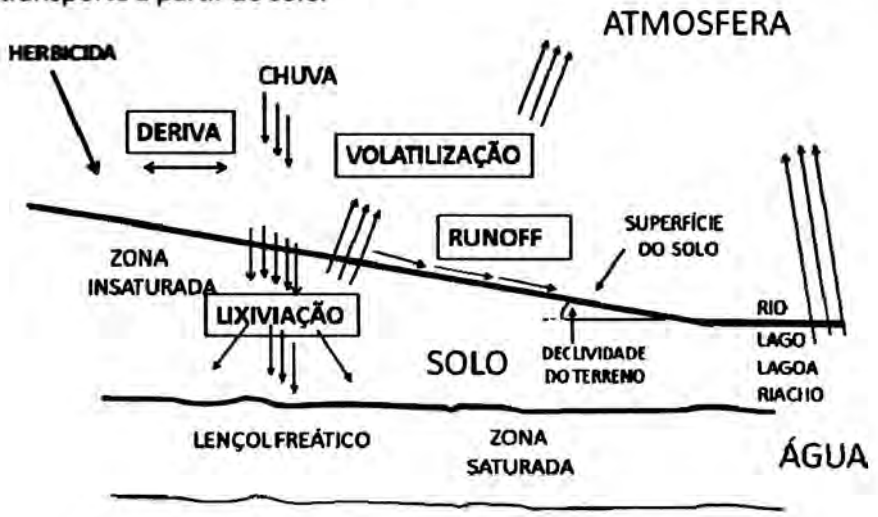



*Figura 4. Processo de transporte de herbicidas no solo (Lavorenti, 1998).*

Levando em conta que a molécula de herbicida tem certa pressão de vapor e se ela ainda estiver na superfície do solo, é de se esperar que ela se volatilize para a atmosfera, sofrendo um transporte, sem alteração na sua estrutura química, apenas com mudança no seu estado físico de líquido ou sólido para o gasoso.

Moléculas de herbicidas livres na superfície do solo ou já adsorvidas às partículas dessa superfície podem, através da erosão eólica, serem transportadas para outros lugares distantes. Outra maneira das moléculas de herbicidas serem transportadas a partir da superfície do solo é através da movimentação da água de chuva ao longo da declividade da área onde elas sofrem o escoamento superficial (runoff) até atingir pontos mais distantes e de menor declividade como superfícies de rios e lagos.

Quando as moléculas do herbicida já estiverem na solução do solo, parte das mesmas estará sendo transportada para a atmosfera ou para a própria fase gasosa do interior do solo, sem modificação na estrutura química e apenas com mudança de estado físico de líquido para gasoso, em função dos valores de sua constante da lei de Henry e de sua pressão de vapor.

Outra possibilidade da molécula de herbicida sofrer o processo de transporte, quando ela estiver na solução do solo, ocorre quando uma chuva vier ou uma irrigação estiver sendo feita, e o solo se tornar saturado, então a água vai percolar ao longo do perfil do solo carreando as moléculas de herbicidas para pontos mais profundos do perfil do solo com possibilidades de contaminar águas do lençol freático através desta lixiviação.

## *Processo de transformação*

O processo de transformação de moléculas de herbicidas no solo subentende qualquer tipo de alteração na estrutura química da molécula de herbicida que ocorra neste meio (Figura 5).

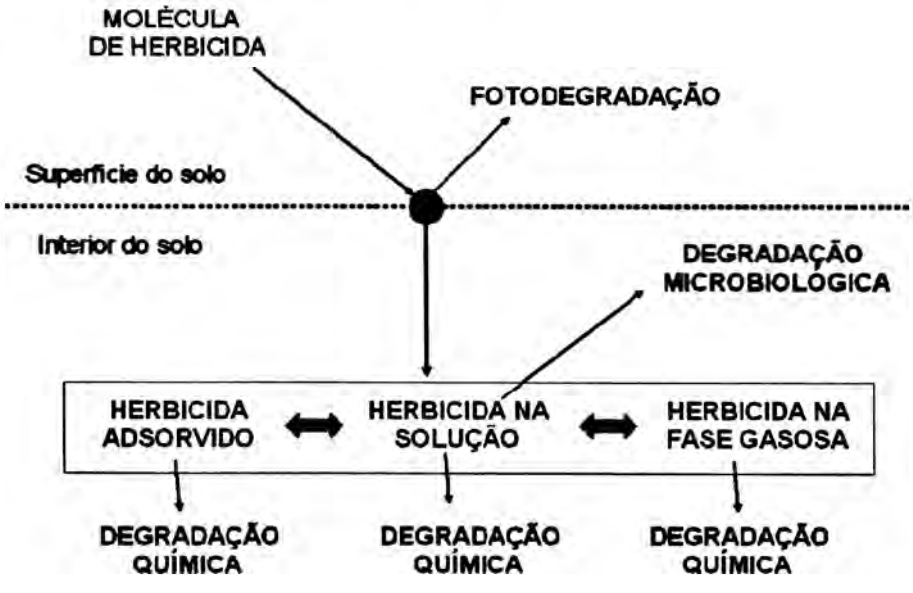



*Figura 5. Processo de transformação de uma molécula de herbicida no solo.*

De um modo geral ocorre o desdobramento ou degradação da estrutura química da molécula de herbicida em estruturas químicas menores, gerando metabólitos ou produtos de degradação, os quais, na maioria das vezes, são menos inofensivos que a molécula original.

Não podemos deixar de citar que pode haver a completa ruptura na estrutura química da molécula de herbicida até o nível de elementos isolados, onde denominamos esta situação como sendo a mineralização da molécula de herbicida.

Também pode ocorrer, e não podemos deixar de citar, porém em situações mais difíceis, o aumento na

estrutura química da molécula de herbicida com incorporação de algumas espécies químicas existentes no solo, como se fosse um processo de polimerização.

Todas estas maneiras da molécula de herbicida ser transformada, são mediadas por meios abióticos (químicos e físicos) e principalmente bióticos (microrganismos).

A população microbiana do solo é numerosa e diversificada. Sua sobrevivência e crescimento são dependentes da obtenção de energia e nutrientes, os quais são obtidos através de matéria prima ou substrato existente no solo.

Para algumas espécies de microrganismos a molécula de herbicida é vista como matéria prima e, ao se aproximarem das moléculas de herbicidas, os microrganismos liberam certas enzimas que reagem com as moléculas de herbicidas ocasionando a quebra ou ruptura da estrutura química.

Ocorrendo a transformação da molécula de herbicida no solo, a mesma deixa de existir e assim sendo não há mais biodisponibilidade nem tão pouco a eficiência herbicida.

O tempo que certa quantidade de herbicida se transforma no solo é medido através da chamada meia vida da molécula (t1/2), a qual se traduz em certo período em dias, meses ou anos, dependendo do tipo de molécula, para que metade da concentração original da molécula se transforme e, por conseguinte, a outra metade, por sua vez persistiu podendo ainda estar biodisponível ou estar sujeita aos processos de retenção e transporte.

Através dos valores de meia vida da molécula de herbicida é que classificamos as mesmas em termos de sua persistência no solo. Isto também facilita o manejo do herbicida no campo ao saber qual o tempo de controle das plantas daninhas e sua eficácia.

## Bibliografia

*Lavorenti, A. **"Comportamento dos herbicidas no meio ambiente"**. Palestra. Workshop sobre Biodegradação, 14 a 16 de outubro de 1996, CNPMA/EMBRAPA, Campinas/SP. pp. 81-115.*

*Lavorenti, A. **"Comportamento dos pesticidas no ambiente: um enfoque aquático"**. Palestra. Curso de Análise de Multiresíduos de Pesticidas em Água, 18 de maio de 1998, CNPMA/EMBRAPA, Jaguariúna/SP.*

*Lavorenti, A. **"Remobilização e transporte de resíduos ligados de pesticidas ao solo"** Palestra. Simpósio sobre Dinâmica de Defensivos Agrícolas no Solo – Aspectos Práticos e Ambientais, 07 a 08 de novembro de 2002. ESALQ/USP, Piracicaba/SP. pp. 70-78.*

# Estimativa do Volume de Água Contaminada por Herbicidas como Indicador da Sustentabilidade da Cana-de-Açúcar

Lourival Costa Paraíba

**Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340, Km 127,5, Tanquinho Velho, Jaguariúna, São Paulo, 130820-000 - E-mail: lourival@cnpma.embrapa.br**

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o maior exportador mundial de açúcar de cana-de-açúcar e o maior produtor mundial de etanol derivado de cana-de-açúcar. As diferentes condições edafo-climáticas das regiões brasileiras produtoras de cana-de-açúcar, associadas às práticas agronômicas adotadas pelos sistemas convencionais de produção para o controle eficiente de plantas daninhas, impõem a utilização de diversos tipos de herbicidas, pois a concorrência entre plantas daninhas e plantas de cana-de-açúcar por espaço e nutrientes reduz significativamente a produtividade da cana-de-açúcar e pode aumentar em mais de 30% os custos de produção (LORENZI, 1995).

Atualmente, o Brasil assumiu o posto de maior consumidor mundial de agrotóxicos. A venda de agrotóxicos no Brasil em 2011, segundo a Associação Nacional de Defesa Vegetal (ANDEF) e o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Sanitária (SINDAG), atingiu a marca de US$ 8,488 bilhões (Informativo Grupo Cultivar de 20/04/2012 http://www.grupocultivar.com.br/site/content/noticias/?q=26374). Os números da ANDEF e do SINDAG comprovam que entre as classes dos agrotóxicos os herbicidas ocupam 33% do volume total de vendas. Neste mesmo ano, a cana-de-açúcar consumiu 12% do volume total de agrotóxicos comercializados no Brasil.

A sustentabilidade na agronomia, definida como o uso contínuo de práticas e técnicas agrícolas necessárias à produção agrícola eficiente e à conservação da qualidade dos compartimentos ambientais para as futuras gerações, pode ser avaliada por indicadores que quantificam o impacto dessas práticas e técnicas nos compartimentos ambientais. Portanto, em qualquer sistema agrícola sustentável as águas subterrâneas e superficiais são compartimentos ambientais que devem ser protegidos e conservados com qualidade, para a manutenção da vida em todas as suas dimensões.

Baseado no conceito de água virtual proposto por ALLAN (1993), ALLAN (1994) e ALLAN et al., (1998) o conceito de pegada hídrica foi introduzido por HOEKSTRA et al. (2002) como um indicador numérico que expressa o volume de água usada em toda a cadeia de produção e consumo de um determinado produto agrícola.

O volume de água de um produto agrícola, calculado por meio da pegada hídrica, é o volume de água necessário para a produção agrícola no local onde este foi produzido (HOEKSTRA et al., 2007; CHAPAGAIN et al. 2004). O volume de água da pegada hídrica pode ser calculado para um produtor individual ou para grupos de produtores organizados em famílias, vilas, cidades, províncias, estados, federações ou nações ou para grupos de produtores organizados em cooperativas, empresas, setores econômicos, organizações privadas ou públicas.

Vários estudos calcularam a pegada hídrica de uma grande variedade de produtos agrícolas. EMPINOTTI (2008) estimou a pegada hídrica do cultivo de cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol no Brasil. ALDAYA et al. (2010), por meio da pegada hídrica, estimaram o volume de água necessário para que os italianos consumissem macarronada e pizza. BULSINK et al. (2010) calcularam a pegada hídrica relacionada ao consumo de produtos agrícolas de comunidades da Indonésia. CHAPAGAIN et al. (2009) elaboraram um estudo sobre

o consumo local de tomates na Espanha, associado à utilização de recursos hídricos na produção de tomates por dois sistemas distintos de produção. GERBENS-LEENES et al. (2009) apresentaram um estudo detalhado sobre o volume de água associado a várias formas convencionais de bioenérgia e calcularam a pegada hídrica de cultivos voltados à produção de biocombustíveis. DEURER et al. (2011) direcionaram seus estudos aos fertilizantes, para observar o impacto da produção de kiwifruit na Nova Zelândia, e utilizaram a pegada hídrica como um indicador do impacto da produção sobre a escassez e a qualidade da água. Outros estudos foram feitos e foram determinadas a pegada hídrica de produtos agrícolas tais como algodão (CHAPAGAIN et al., 2006), arroz (CHAPAGAIN et al., 2011), trigo (MEKONNEN et al., 2010), chá e café (CHAPAGAIN et al., 2007), manga (RIDOUTT et al., 2010), carne e seus derivados (pecuária) (RIDOUTT et al., 2012) e azeitona e azeite de oliva (SALMORA et al., 2011).

Nos cálculos da pegada hídrica determinam-se os volumes de água verde (evapotranspiração), água azul (irrigação) e água cinza (contaminação) (ALDAYA et al, 2009). O volume de água cinza da pegada hídrica de um cultivo agrícola é definido como o volume de água necessário para diluir a carga de agrotóxicos e fertilizantes utilizados na produção agrícola, mantendo a água em padrões de qualidade definidos como aceitáveis para a manutenção da vida.

Esta palestra apresentará um método que estima o volume de água cinza necessário para diluir a toxicidade na água da carga de herbicidas utilizados em uma região para o cultivo de cana-de-açúcar. O método que será apresentado pode ser usado como um indicador da sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar, pois estima o volume de água necessário para diluir a contaminação, e manter a qualidade da água, decorrente de uma prática agrícola caracterizada pelo uso de herbicidas no preparo de condições agronômicas para a condução sustentável da produção de cana-de-açúcar. No cálculo do volume da água cinza se supõe que a água (subterrânea e superficial) é contaminada pela mistura dos herbicidas utilizados no cultivo de cana-de-açúcar.

Para diluir o efeito tóxico na água da mistura dos herbicidas, o método requer o conhecimento de concentrações dos herbicidas com efeitos agudos em algas, daphnias, peixes e plantas aquáticas. Para estimar as concentrações dos herbicidas na água superficial, devido ao escorrimento superficial, foi utilizado o modelo Soilfug (DI GUARDO et al., 1994; FINIZIO et al., 2005) e para estimar as concentrações dos herbicidas na água subterrânea, devido à lixiviação, foram utilizados o fator de atenuação e o fator de retardo (RAO et al., 1985; PARAÍBA et al., 2002). Durante eventos sucessivos de chuva em um período e região, o modelo SoilFug utiliza o conceito de fugacidade para estimar o reparto dos herbicidas entre os compartimentos solo e água superficial (FINIZIO et al., 2005).

No Brasil, segundo CHRISTOFFOLETI et al. (2005), os cultivos de cana-de-açúcar utilizam dois tipos de herbicidas. Os herbicidas com características físico-químicas apropriadas para condições edafo-climáticas caracterizadas pela baixa umidade do solo, classificados como herbicidas de épocas secas, e os herbicidas com características físico-químicas apropriadas para condições edafo-climáticas caracterizadas por média ou alta umidade do solo, classificados como herbicidas de épocas úmidas.

Na preparação da área para o cultivo de cana-de-açúcar infestado com plantas daninhas e solo seco, CHRISTOFFOLETI et al. (2005) sugerem utilizar herbicidas de épocas secas como glyphosate + imazapyr, glyphosate + imazapic, glyphosate + isoxaflutole ou glyphosate + carfentrazone. Em épocas com o solo úmido infestado de espécies de plantas daninhas e com a planta de cana-de-açúcar no estágio de esporão, CHRISTOFFOLETI et al. (2005) sugerem utilizar herbicidas de épocas úmidas como tebuthiuron, clomazone, sulfentrazone, hexazinone + diuron, trifloxisulforon + ametryne, clomazone + ametryne, metribuzin, ametrine, trifluraline, pendimenthalin e suas combinações. Além disso, o herbicida trifluraline pode ser empregado em solos úmidos para a expansão de cana-de-açúcar sobre áreas de pastagens com infestação de gramíneas.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA, 1986), uma mistura de relevância toxicológica é definida como qualquer combinação de duas ou mais substâncias químicas que pode afetar uma população alvo. Vários estudos têm demonstrado a ocorrência simultânea de diversos agrotóxicos na água superficial e subterrânea (BATTAGLIN et al., 2011; SQUILLACE et al., 2002; FAVA et al., 2010), caracterizando a contaminação como uma contaminação por misturas de agrotóxicos (FINIZIO et al., 2005; VERRO et al., 2009). Portanto, devido ao número de combinações possíveis no uso de herbicidas em

cultivos de cana-de-açúcar e de relatos de ocorrências simultâneas de diversos herbicidas em corpos hídricos, decidimos estimar o volume de água cinza da cana-de-açúcar pelo cálculo do volume de água necessário para diluir a contaminação provocada pela mistura na água dos herbicidas recomendados para o seu cultivo.

A modelagem do cálculo da água cinza utiliza a metodologia de FINIZIO et al. (2005), desenvolvida para analisar o impacto na qualidade da água de misturas de contaminantes, utilizando o conceito de Löewe de Concentration Addition, que foi desenvolvido para estimar o efeito das misturas de substâncias na toxicidade aguda em organismos. O "Concentretion Addition" supõe que o efeito tóxico da mistura em organismos ou a potência tóxica da mistura é a soma algébrica dos efeitos tóxicos de cada componente da mistura, em separado, onde a potência tóxica é representada pela proporção tóxica de cada componente da mistura. Esta suposição é sempre válida quando cada uma das substâncias componentes da mistura tem o mesmo modo de ação toxicológica no organismo (BACKHAUS et al., 2003).

Hipoteticamente, o volume total de água cinza da mistura calculado foi o necessário para diluir a concentração na água, dos herbicidas utilizados em cana-de-açúcar, à concentrações na água que não causem efeitos tóxicos observáveis em organismos aquáticos. Desta forma, o método proposto foi utilizado para estimar a água cinza da mistura na água dos herbicidas ametryn, amicarbazone, carfentrazone-ethyl, clomazone, diuron, glyphosate, hexazinone, imazapic, imazapyr, isoxaflutole, metribuzin, oxyfluorfen, pendimethalin, sulfentrazone, tebuthiuron, trifloxysulfuron e trifluralina. O volume de água cinza de cada herbicida variou entre $1{,}69\times10^{2}$ para o glyphosate e $4{,}64\times10^{8}$ para o trifloxysulfuron, ambos em metros cúbicos por hectare, e o volume total da água cinza da mistura dos herbicidas, ou a água contaminada pelos herbicidas, foi de $5{,}09\times10^{8}$ metros cúbicos por hectare. Conclui-se que um sistema de cultivo de cana-de-açúcar é sustentável, quando o volume de água contaminada pelos herbicidas utilizados pelo sistema é menor do que o volume de água cinza estimado, ou seja, quando concentrações de herbicidas observadas experimentalmente na água são menores do que as concentrações de herbicidas na água estimadas utilizando o volume de água cinza da mistura dos herbicidas.

## Bibliografia

*ALDAYA, M.M. et al.* ***Water Footprint Accounting for Water Quality,*** *2009. http://www.worldwaterweek.org/documents/WWW_PDF/2009/sunday/K24/CEO/Aldaya-Stockholm-16Aug2009_Kompatibilitetslge.pdf).*

*ALDAYA, M.M. et al.* ***The water needed for Italians to eat pasta and pizza.*** *Agricultural Systems, v.103, n.6, p.351-360, 2010.*

*ALLAN, J.A.* ***Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. In: Priorities for water resources allocation and management,*** *ODA, London, p.13-26, 1993.*

*ALLAN, J.A.* ***Overall perspectives on countries and regions. In: Rogers P, Lydon P (eds) Water in the Arab World: perspectives and prognoses.*** *Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, p.65-100, 1994.*

*ALLEN, R.G. et al.* ***Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.*** *Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 1998. http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm*

*BACKHAUS, T. et al.* ***The BEAM-project: prediction and assessment of mixture toxicities in the aquatic environment.*** *Continental Shelf Research, v.23, n.17-19, p.1757-1769, 2003.*

*BATTAGLIN, W.A. et al.* ***Occurrence of Azoxystrobin, Propiconazole, and Selected Other Fungicides in US Streams, 2005-2006.*** *Water Air and Soil Pollution, v.218, n.1-4, p.307-322, 2011.*

BULSINK, F. et al. **The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products.** Hydrology and Earth System Sciences, v.14, n.1, p.119-128, 2010.

CHAPAGAIN, A.K. et al. **An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case study of Spanish tomatoes.** Journal of Environmental Management, v.90, n.2, p.1219-1228, 2009.

CHAPAGAIN, A.K. et al. **Water Footprints of nations. Value of Water Research Report Series n.16**, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. 2004. http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf.

CHAPAGAIN, A.K. et al. **The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries.** Ecological Economics, v.60, n.1, p.186-203, 2006.

CHAPAGAIN, A.K. et al. **The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives.** Ecological Economics, v.70, n.4, p.749-758, 2011.

CHAPAGAIN, A.K. et al. **The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands.** Ecological Economics, v.64, n.1, p.109-118, 2007.

CHRISTOFFOLETI, P.J. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas In: II Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar, 2005, Piracicaba.** Anais em CD do II Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar. Piracicaba: ESALQ/POTAFOS, 2005.

DEURER, M. et al. **Trends and Interpretation of Life Cycle Assessment (LCA) for Carbon Footprinting of Fruit Products: Focused on Kiwifruits in Gyeongnam Region.** Korean Journal of Horticultural Science & Technology, v.29, n.5, p.389-406, 2011.

DI GUARDO, A. et al. **Simulation of pesticide runoff at Rosemaund Farm (UK) using the SoilFug model.** Environmental Science and Pollution Research, v.1, n.3 ,p.151-160, 1994.

EMPINOTTI, V. **Biofuels in the context of water scarcity threats: a critical examination of the water footprint of sugar cane ethanol in Brazil. 2008.** 54 f. Dissertation (MsC) Environment and Development) - Department of Geography and Environment, the London School of Economics and Political Science.

FAVA, L. et al. **Pesticides and their metabolites in selected Italian groundwater and surface water used for drinking. Annali dell Istituto Superiore di Sanita**, v.46, n.3, p.309-316, 2010.

FINIZIO, A. et al. **Predicting pesticide mixtures load in surface waters from a given crop.** Agriculture Ecosystems & Environment, v.111, n.1-4, p.111-118, 2005.

HOEKSTRA, A.Y. et al. **Water footprint manual: state of the art 2009.** Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.

HOEKSTRA, A.Y. et al. **Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series n.11**, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, 2002. http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf

HOEKSTRA, A. Y. et al. **Water Footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management, v.21, n.1, p.35-48, 2007.**

GERBENS-LEENES, W. et al. **The water footprint of bioenergy. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v.106, n.25, p.10219-10223, 2009.**

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional.** 5.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. 339 p.

MEKONNEN, M. M. et al. **A global and high resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat**, Hydrology and Earth System Sciences, v.14, n.7, p.12590-1276, 2010.

PARAÍBA L.C. et al. **Soil temperature effect in calculating attenuation and retardation factors.** Chemosphere, v.48, n.9, p.905-912, 2002.

RAO, P.S.C. et al. **Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater.** Proceedings of Soil & Crop Science Society of Florida, v.44, p.1-8., 1985.

RIDOUTT, B.G. et al. **The water footprint of food waste: case study of fresh mango in Australia.** Journal of Cleaner Production, v.18, n.16-17, p.1714-1721, 2010.

RIDOUTT, B.G. et al. **Water footprint of livestock: comparison of six geographically defined beef production systems.** International Journal of Life Cycle Assessment, v.17, n. 2, p.165-175, 2012.

SALMORAL, G. et al. **The water footprint of olives and olive oil in Spain [La huella hídrica de las aceitunas y aceite de oliva en España].** Spanish Journal of Agricultural Research, v.9, n. 4 , p.1089-1104. 2011.

SQUILLACE, P.J. et al. VOCs, **pesticides, nitrate, and their mixtures in groundwater used for drinking water in the United States.** Environmental Science & Technology, v.36, n.9, p.1923-1930, 2002.

USEPA. **Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. p.38, 1986.** http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=22567#Download

VERRO, R. et al. **Predicting Pesticide Environmental Risk in Intensive Agricultural Areas. II: Screening Level Risk Assessment of Complex Mixtures in Surface Waters.** Environmental Science & Technology, v.43, n.2, p.530-537, 2009.

# Monitoramento e Tecnologias para Redução de Deriva em Aplicações de Herbicidas

Marcelo Boschiero[1], Caio Antonio Carbonari[2], Edivaldo Domingues Velini[2], Weber Geraldo Valério[1]

[1] **Agroanalítica Consultoria Agronômica Ltda**

[2] **Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA**

## Introdução

A deriva em aplicações de defensivos agrícolas pode ser considerada como um dos maiores problemas da agricultura atualmente, tendo em vista o grande aumento no consumo e dependência desses produtos para a proteção das culturas agrícolas. Desta forma, as perdas durante a aplicação de um defensivo agrícola implicam em uma menor eficácia biológica e um maior risco ambiental.

Quando se aplica determinado herbicida, busca-se colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo desejado, com máxima eficiência e de maneira mais econômica possível, com o mínimo de prejuízos ao meio ambiente (Durigan, 1989). A deriva é definida como parte da pulverização agrícola que é carregada para fora da área-alvo, pela ação do vento (Miller, 1993) ou pela volatilização do produto. A ocorrência da deriva em aplicações de herbicidas pode causar danos ao atingir cultivos vizinhos e/ou alvos indesejáveis, intoxicações ao homem e animais, além de consequências ao ambiente. Na cultura da cana-de-açúcar o controle de plantas daninhas deve ser realizado por extensos períodos em função do ciclo longo da cultura, o que requer aumentos muito significativos nas doses dos produtos para compensar as perdas observadas e garantir um controle efetivo das mesmas.

Entre os fatores que interferem na ocorrência da deriva podem ser mencionadas as características do herbicida (características físico-químicas e formulação), o tipo de equipamento, a calibração, o tipo e o espaçamento entre as pontas de pulverização, as técnicas de aplicação, as condições meteorológicas e a habilidade do operador (Costa et al., 2007; Cunha et al., 2003; Penckowski et al., 2003; Viana et al., 2007). De acordo com as condições ambientais, é preciso conhecer o espectro das gotas pulverizadas, de forma a adequar o seu tamanho, garantindo, ao mesmo tempo, eficácia biológica e segurança ambiental (Cunha et al., 2003). O tamanho de gotas produzidas por um bico de pulverização depende de vários fatores, dentre os quais se destacam as propriedades do líquido pulverizado e o tipo de ponta.

A detecção da deriva dos herbicidas tem grande importância, para minimizar os prejuízos sociais, ambientais e econômicos. Em geral a ineficácia dos herbicidas é atribuída a erros na recomendação e posicionamento dos mesmos, no entanto, poucas vezes a tecnologia empregada na aplicação e as perdas por deriva são consideradas.

As tecnologias utilizadas nas aplicações de herbicidas e as condições climáticas têm sido freqüentemente citadas quando se discutem medidas para minimizar os riscos de deriva, porém, poucas metodologias têm sido desenvolvidas para quantificar a perda de herbicidas e muitas vezes são empregados métodos inadequados para a avaliação das perdas por deriva no momento da aplicação. Nesse sentido, serão apresentadas a seguir, metodologias desenvolvidas para o monitoramento das perdas por deriva e algumas tecnologias avaliadas para a racionalização das aplicações de herbicidas e redução da deriva na cultura da cana-de-açúcar.

## *Monitoramento da deriva em aplicações de herbicidas em cana-de-açúcar*

O correto monitoramento da deriva tem grande importância na detecção dos riscos da mesma e na adoção e avaliação de tecnologias para reduzi-la. No entanto, há a necessidade da utilização de métodos corretos para tal finalidade, com alvos que permitam detectar com precisão principalmente a quantidade do herbicida que atinge o alvo e permitir a realização do balanço de massas (quantidade do herbicida depositada no alvo e fora da área) e traçadores que representem o comportamento dos diferentes herbicidas, o que nem sempre é possível, exceto quando se quantifica o próprio herbicida aplicado.

Desta forma, Carbonari et al (2011) realizaram um trabalho para o desenvolvimento e validação da metodologia de quantificação das perdas por deriva e da uniformidade de distribuição dos herbicidas na área tratada, por meio da distribuição de alvos planos no nível do solo. A metodologia desenvolvida promoveu a quantificação dos depósitos dos herbicidas, em no mínimo 80 pontos (repetições) na área onde a aplicação foi realizada, com a quantificação dos ingredientes ativos dos produtos (sem o uso de traçadores), o que de fato, por diferença, quantifica com muita precisão a fração da aplicação que não se depositou na área alvo, nesse caso, o solo (aplicação em pré-emergência).

Após o ajuste da metodologia foram realizadas amostragens em 8 aplicações comerciais de herbicidas em pré-emergência (diferentes produtos e associações de herbicidas) em áreas de cultivo de cana-de-açúcar em diferentes locais no estado de São Paulo. Para todas as amostragens foram adotados procedimentos padronizados, nos quais foram inspecionadas e levantadas todas as características dos pulverizadores, condições operacionais, preparo da calda e condições climáticas durante a aplicação. Estas características operacionais e climáticas estão apresentadas na Tabela 1, que resume as principais condições observadas para cada uma das aplicações. O preparo da calda foi realizado conforme o padrão das aplicações comerciais e os produtos utilizados de acordo com as recomendações de cada produtor para cada uma das áreas. Momentos antes de cada aplicação, a área a ser avaliada foi preparada distribuindo-se os alvos aleatoriamente nas entrelinhas e linha da cultura, na superfície do solo de forma que estes estivessem completamente expostos à pulverização. Em seguida realizou-se a aplicação, com pulverização em área total. Após a aplicação os alvos foram recolhidos, e a calda de aplicação depositada sobre os mesmos foram extraídas e os herbicidas quantificados por cromatografia e espectrometria de massas.

Tabela 1. Resumo das principais características operacionais e climáticas de cada aplicação avaliada.

| Áreas | Pontas | Esp. Bicos (m) | Altura Barra (m) | Pressão (psi) | Veloc. (km/h) | Vol. (L/ha) | Temp. (° C) | UR (%) | Ventos (km/h) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ADIA11003 | 0,40 | 0,70 | 4,27 | 8,5 | 250 | 22,7 | 51 | 7,5 |
| 2 | ADIA11002 | 0,25 | 0,45 | 2,41 | 8,5 | 200 | 29,4 | 48 | 7,5 |
| 3 | ADIA11003 | 0,40 | 0,50 | 2,76 | 8,5 | 200 | 21,7 | 88 | 6,5 |
| 4 | ADIA11004 | 0,50 | 0,50 | 3,79 | 8,5 | 250 | 31,8 | 32 | 5,3 |
| 5 | ADIA11002 | 0,25 | 0,50 | 1,86 | 6,0 | 250 | 24,1 | 38 | 13,0 |
| 6 | ADIA11025 | 0,50 | 0,50 | 7,52 | 8,5 | 220 | 38,1 | 13 | 7,8 |
| 7 | ADIA11003 | 0,35 | 0,45 | 2,14 | 8,5 | 200 | 31,7 | 28 | 8,5 |
| 8 | ADIA11003 | 0,40 | 0,50 | 4,27 | 8,5 | 250 | 21,2 | 70 | 9,5 |

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da deposição mínima, média e máxima e os valores de deriva, em porcentagem da deposição esperada, das oito aplicações monitoradas. Observa-se que as aplicações 1, 6 e 8 foram as que apresentaram as maiores perdas pela deriva. Para a primeira área, estes valores elevados de deriva podem estar associados à maior altura da barra (0,7m) dentre todas as demais. Outro aspecto importante é a pressão real calculada com base no tipo e número de pontas e na vazão, que nesta ocasião foi de aproximadamente 4,27 bar. A área seis apresentou algumas particularidades que devem estar diretamente associadas ao alto índice de deriva, sendo esta, a aplicação onde foram observadas a maior temperatura e menor umidade relativa do ar, o que promoveu uma redução bastante significativa no volume da calda que atingiu o alvo. Nesta ocasião é observada uma pressão real calculada de 7,52 bar.

Para a área sete, apesar da deriva observada ter sido bastante significativa, não foram verificadas condições climáticas e/ou operacionais desfavoráveis, exceto a pressão que foi alta em relação às demais aplicações. Para todas as aplicações são observadas variações bastante significativas entre o valor mínimo e máximo de depósito em cada um dos alvos, indicando uma desuniformidade de aplicação na área total. Além da deriva, em aplicações com barra de pulverização, a deposição do produto é extremamente variável devido aos movimentos verticais e horizontais da mesma. Essas variações nos depósitos pontuais durante a aplicação de defensivos agrícolas é bastante prejudicial para o desempenho dos produtos, uma vez que acabam ocorrendo subdosagens, bem como altas dosagens dos produtos em alguns pontos da área aplicada.

De maneira geral, quando se analisa o conjunto dos dados (todas as aplicações), observa-se um valor médio de deriva de 17,93% e a máxima condição de deriva foi de 38,65%, o que indica perdas bastante significativas pela ocorrência de deriva durante as aplicações de herbicidas direcionados ao solo em cana-de-açúcar.

Tabela 2. Deposição mínima, média e máxima e valores de deriva, em porcentagem da deposição esperada, encontrados em todas as aplicações.

| Aplicações | % da deposição esperada | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Deposição máxima** | **Deposição média** | **Deriva** | **Deposição mínima** |
| **1** | 97,64 | 72,79 | 27,21 | 47,03 |
| **2** | 141,06 | 82,16 | 17,84 | 43,71 |
| **3** | 118,34 | 87,19 | 12,81 | 29,50 |
| **4** | 115,05 | 86,61 | 13,39 | 66,40 |
| **5** | 101,07 | 83,24 | 16,76 | 42,21 |
| **6** | 77,93 | 63,78 | 36,22 | 50,29 |
| **7** | 144,66 | 97,28 | 2,72 | 32,79 |
| **8** | 91,73 | 61,35 | 38,65 | 29,24 |
| **Mínimo** | 77,93 | 63,78 | 2,72 | 29,50 |
| **Média** | **113,18** | **82,07** | **17,93** | **47,09** |
| **Máxima** | 144,66 | 97,28 | 38,65 | 66,40 |

## *Avaliação de tecnologias para a redução da deriva*

Diferentes tecnologias com potencial de redução da deriva e das variações nos depósitos pontuais tem sido avaliadas de acordo com as metodologias apresentadas anteriormente, como por exemplo, diferentes pontas de pulverização (ADIA11002, TTI03, FL6.5), comparadas sempre em condições climáticas bastante semelhantes e nas mesmas condições operacionais (distância entre bicos, velocidade, altura de barra, volume de calda). Para estas três pontas foram observadas menores perdas por deriva para as pontas de pulverização ADIA11002 e TTI03, porém a ponta TTI03 apresentou uma menor variação de distribuição pontual dos herbicidas na área, ou seja, promoveu uma aplicação mais uniforme na área alvo.

Outro fator importante que vem sendo avaliado é o uso de adjuvantes com características para a redução da deriva. Algumas aplicações de herbicidas foram monitoradas, novamente nas mesmas condições operacionais e climáticas, com e sem o uso do adjuvante (Agridex) utilizando-se a metodologia anteriormente descrita e os resultados podem ser observados na Figura 1 onde apresentados os ganhos, em porcentagem, dos depósitos para diferentes aplicações com diferentes herbicidas em relação aos depósitos da aplicação sem adjuvante (padrão adotado neste caso). Desta forma, quando se compara as médias dos depósitos de todos os pontos avaliados observam-se maiores depósitos para as aplicações com o uso do adjuvante (Figura 1). Observa-se que o adjuvante foi pouco eficiente em aumentar a uniformidade da aplicação, mas apresenta grande eficiência em reduzir a deriva, com depósitos médios bastante superiores, até 25% maiores do que na aplicação padrão (sem o uso de adjuvante).

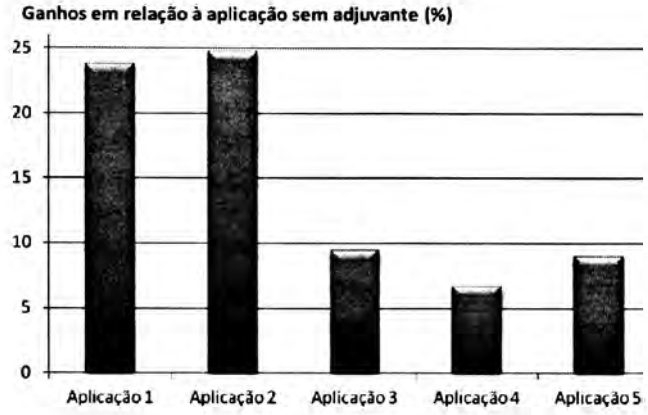



*Figura 1. Porcentagens de aumento médio dos depósitos para as aplicações com o adjuvante em relação as aplicação nas mesmas condições (operacionais e climáticas) sem adjuvante.*

Além do uso de adjuvantes, foram realizadas quantificações das perdas por deriva e variações nos depósitos em aplicações com pulverizadores com e sem o uso de estabilizadores de barra para avaliar o potencial dos mesmos na redução da deriva (dados ainda não publicados). Foram observadas pequenas variações em relação às perdas por deriva. No entanto, conforme se verifica na Figura 2, onde estão representadas as curvas comparativas da uniformidade na aplicação sem e com estabilizador de barra e bicos espaçados, que houve uma maior uniformidade na aplicação com o pulverizador com estabilizador de barra, com menores variações entre os depósitos mínimos e máximos. Tal fato demonstra que esta é uma variável muito importante e altamente eficiente em reduzir as variações nos depósitos pontuais dentro da área de aplicação.

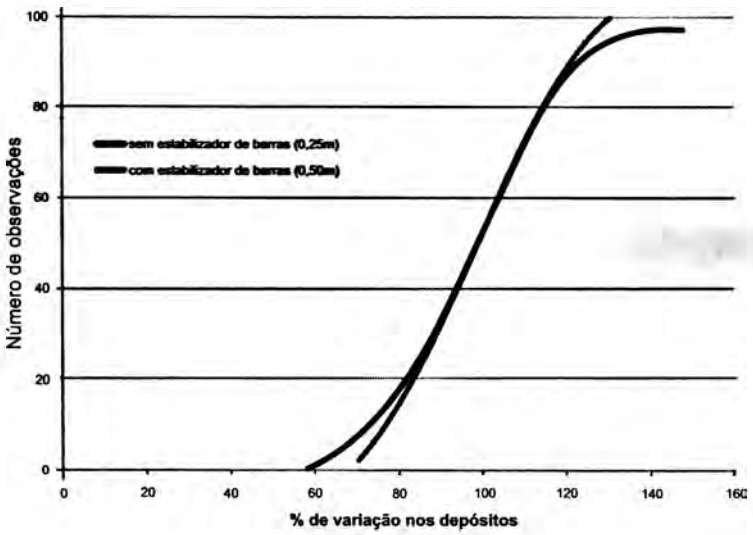



*Figura 2. Variações nos depósitos (%) para as aplicações com e sem estabilizador de barra (Dados ajustados).*

## Considerações Finais

As perdas por deriva em aplicações de herbicidas são bastante variáveis, sendo sempre observados maiores níveis de deriva associados à variáveis operacionais e/ou climáticas no momento das aplicações. A escolha adequada da ponta de pulverização pode auxiliar na redução da deriva e uniformização da aplicação. O uso de adjuvante com composição específica pode contribuir de forma significativa para a redução da deriva e o uso de estabilizadores na barra de aplicação promove ganhos na qualidade da aplicação dos herbicidas em cana-de-açúcar.

## Bibliografia

*CARBONARI, C.A.; VELINI, E.D.; BOSCHIERO, M.; VALERIO, W.G.* ***Avaliação da deriva em aplicações de herbicidas em cana-de-açúcar.*** *In: V Simpósio Internacional de Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos, 2011, Cuiabá.* **Anais.** *Botucatu: FEPAF, 2011.*

*COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C. A.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; SILVA, F. M. L.* ***Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência.*** *Planta Daninha, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.*

*CUNHA, J. P. A. R., TEIXEIRA, M. M., COURY, J. R.; FERREIRA, L. R.* ***Avaliação de estratégias para redução da deriva de agrotóxicos em pulverizações hidráulicas.*** *Planta Daninha, v. 21, n. 2, p. 325-332, 2003*

*DURIGAN, J. C.* ***Comportamento de herbicidas no ambiente. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTO,*** *1989, Rio de Janeiro.* **Anais...** *Rio de Janeiro: SBS/ABRACAVE/SIF, 1989.*

*MILLER, P. C. H.* ***Spray drift and its measurement. In: MATTHEWS, G. A.; HISLOP, E. C. Application technology for crop protection. CAB International: 1993. p. 101-122.***

*PENCKOWSKI, L. H.; PODOLAN, M. J.; LÓPEZOVEJERO, R. F.* ***Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de nabiça (Raphanus raphanistrum) na cultura do trigo.*** *Planta Daninha, v. 21, n. 3, p. 435-442, 2003.*

*VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; FREITAS, F. C. L.; QUIRINO, A. L. S.; SANTOS, M. V.* ***Características técnicas de pontas de pulverização LA-1JC e SR-1****. Planta Daninha, v. 25, n. 1, p. 211-218, 2007.*

# Plantas Daninhas e seus Efeitos na Cultura do Algodoeiro

Augusto Guerreiro Fontoura Costa[1]; Valdinei Sofiatti[1]; Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira[1]
[1] **Embrapa Algodão**

## Introdução

O algodão é uma das mais importantes commodities mundiais, movimentando bilhões de dólares por ano somente em produtos manufaturados (BELTRÃO et al., 2008). No Brasil, o cultivo do algodoeiro apresentou crescimento substancial em produtividade nas últimas duas décadas (CONAB, 2012), devido principalmente à migração do cultivo para as áreas de cerrado, cujas condições edafoclimáticas favoráveis têm sido combinadas a elevados investimentos em tecnologia, a exemplo de práticas de correção química do solo e adubações, mecanização agrícola, melhoramento genético vegetal, manejo de pragas, doenças e plantas daninhas.

Entre as práticas realizadas nos sistemas de produção de algodão, aquelas relacionadas ao manejo de plantas daninhas são fundamentais para manter o rendimento e a qualidade tecnológica da fibra, bem como almejar incrementos em produtividade, favorecendo o retorno financeiro e a competitividade. Considerando-se a relevância do tema, neste trabalho são apresentadas informações relacionadas às plantas daninhas e seus efeitos sobre a cultura do algodoeiro.

## Plantas daninhas na cultura do algodoeiro

Uma planta é conceituada como daninha quando sua presença no ambiente interfere nos interesses do homem. De modo geral, planta daninha pode ser definida como toda e qualquer planta que ocorre em local onde não é desejada. Entretanto, é na agricultura que essas plantas provocam maiores danos econômicos (BRINGHENTI, 2001). No caso do cultivo do algodoeiro não é diferente, pois a redução da produtividade pode ser maior que 90% (FREITAS et al., 2003; AZEVEDO et al., 2008).

O metabolismo fotossintético C3 e o crescimento inicial lento estão entre as características do algodoeiro que o tornam sensível a interferência das plantas daninhas (AZEVEDO et al., 1994; BELTRÃO; AZEVEDO, 1994), sendo o controle de plantas considerado mais difícil do que na maioria dos cultivos (MONQUERO, 2005).

Considerando as principais plantas daninhas na cultura do algodoeiro, seja devido a frequência, nível de interferência ou dificuldade de controle, podem ser destacadas aquelas apresentadas na Tabela 1, elaborada com base nas menções de Azevedo et al. (1994); Beltrão e Azevedo (1994); Freitas et al. (2002); Salgado et al (2002); Freitas et al. (2003); Azevedo et al. (2008); Ferreira (2009); Cardoso et al. (2010); Christoffoleti et al. (2011) e Cardoso et al. (2011). A partir das informações apresentadas pelos autores, pode se considerar que a maioria das espécies ou gêneros é comum na região Centro-Sul brasileira, na qual se localiza o cerrado, principal região produtora de algodão. *Merremia aegyptia, Richardia grandiflora* e *Eragrostis pilosa* destacaram-se mais especificamente em trabalhos realizados na região Nordeste (CARDOSO et al., 2010; CARDOSO et al., 2011), para a qual a tiririca (*C. rotundus*) também é relatada como sério problema, especialmente para áreas irrigadas (AZEVEDO et al.; 1994).

Além das espécies citadas, algumas cultivadas anteriormente ao algodão também podem se tornar daninhas. O cultivo de soja como safra, seguido de algodoeiro em safrinha, tem sido cada vez mais comum

no cerrado brasileiro, sobretudo nos estados de Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul. Dessa forma, como a soja apresenta certa tolerância a herbicidas inibidores de ALS (principal mecanismo de ação disponível como pós-emergente para aplicação em área total para os cultivares convencionais de algodão), é comum acontecer de a soja infestar as lavouras de algodão, exigindo-se maiores cuidados na aplicação dos herbicidas trifloxissulfurom-sódico ou piritiobaque-sódico, de modo a não reduzir a eficiência do herbicida no controle da soja, nem tampouco ocasionar fitotoxidez nos algodoeiros. Situação semelhante ocorre com milho ou soja geneticamente modificados para tolerância ao glifosato, que podem infestar lavouras de algodão tolerante ao mesmo herbicida. O contrário também pode acontecer, ou seja, algodoeiros transgênicos tolerantes ao glifosato infestarem lavouras de soja ou milho tolerantes ao mesmo herbicida, cultivadas em sucessão, fato esse exige rigoroso programa de controle dos algodoeiros espontâneos, de modo a não ocasionar sérias infestações do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*) e de pragas polífagas (*Heliothis virenscens*, *Spodoptera frugiperda*, *S. eridanea* e *Euchistus eros*).

*Tabela 1 – Principais plantas daninhas da cultura do algodoeiro.*

| **Monocotiledôneas** | **Nome comum** |
|---|---|
| *Commelina benghalensis* | Trapoeraba |
| *Digitaria horizontalis* | Capim-colchão |
| *Eleusine indica* | Capim-pé-de-galinha |
| *Cenchrus echinatus* | Capim-carrapicho |
| *Brachiaria spp.* | Capim-braquiária |
| *Panicum maximum* | Capim-colonião |
| *Cyperus rotundus* | Tiririca |
| *Eragrostis pilosa* | Capim-mimoso, capim-panasco |
| **Eudicotiledôneas** | **Nome comum** |
| *Alternanthera tenella* | Apaga-fogo |
| *Bidens pilosa* | Picão-preto |
| *Chamaesyce hirta* | Erva-de-santa-luzia |
| *Euphorbia heterophylla* | Leiteiro |
| *Amaranthus* spp. | Caruru |
| *Ipomoea* spp. | Corda-de-viola |
| *Spermacoce latifolia* | Erva-quente |
| *Acanthospermum hispidum* | Carrapicho-de-carneiro |
| *Sida* spp. | Guanxuma |
| *Ageratum conyzoides* | Mentrasto |
| *Portulaca oleracea* | Beldroega |
| *Merremia aegyptia* | Jitirana |
| *Richardia spp.* | Poaia |

## *Interferência de plantas daninhas na cultura do algodoeiro*

Conforme Christoffoletti et al. (2011) as plantas daninhas estão entre os principais fatores bióticos que exercem influência na cultura do algodão. Essas plantas competem por luz, água, nutrientes, espaço, além de algumas causarem efeitos alelopáticos sobre as culturas. Os prejuízos podem ser divididos em duas categorias

principais: - danos diretos - que são aqueles em que o desenvolvimento da cultura ou qualidade do produto é afetado; - danos indiretos - onde certas operações são impedidas ou dificultadas, ou ainda quando as plantas daninhas hospedam pragas ou doenças.

O grau de interferência de plantas daninhas sobre as plantas cultivadas é influenciado por fatores ligados a comunidade infestante (composição específica, densidade e distribuição), à própria cultura (espécie ou variedade, espaçamento e densidade de semeadura) e à época e extensão do período de convivência. Além disso, pode ser alterado pelas condições edáficas, climáticas e de tratos culturais (PITELLI, 1985). Sendo assim, Salgado et al. (2002) ressalta que é conveniente que sejam realizadas pesquisas para atender às necessidades de diferentes regiões e conhecer a sensibilidade dos cultivares de algodão à interferência das plantas daninhas, fornecendo subsídios para o planejamento de programas de manejo das plantas daninhas no cultivo do algodoeiro.

Para que se possa adotar alguma medida no intuito de reduzir os efeitos das plantas daninhas, é necessário o conhecimento do período, durante o ciclo cultural, em que a presença de plantas daninhas interfere negativamente no crescimento e desenvolvimento da lavoura. Em média, o período de mato-competição das plantas daninhas no ciclo do algodoeiro ocorre entre 15 e 70 dias após a emergência da cultura, correspondendo ao intervalo no qual o controle deve ser realizado com o objetivo de eliminar a competição interespecífica e assegurar a produtividade. Porém, esse período pode variar, principalmente, em função do sistema de produção adotado (CHRISTOFFOLETI et al., 2011).

A presença de plantas daninhas no final do ciclo do algodoeiro, apesar de não mais afetar a produtividade, pode atrapalhar e onerar a colheita e o beneficiamento. Algumas plantas infestantes dificultam a colheita do algodão, com destaque para as espécies de corda-de-viola (*Ipomoea* spp.) e o apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), enquanto outras, como *Acanthospermum hispidum*, *Cenchrus echinatus* e *Bidens pilosa* depreciam a qualidade do algodão colhido, devido à adesão de seus propágulos à fibra. Consequentemente, no beneficiamento, são requeridos maiores esforços mecânicos para obtenção de limpeza, podendo comprometer o comprimento, a uniformidade das fibras e o valor da pluma (AZEVEDO et al., 2008).

## *Considerações finais*

O manejo adequado de plantas daninhas na cultura do algodoeiro é fundamental para atingir níveis satisfatórios de produtividade e qualidade do produto colhido, favorecendo o retorno financeiro dos investimentos realizados na lavoura. Para tanto, o conhecimento da flora infestante e as relações de interferência com o cultivo do algodoeiro são essenciais para o estabelecimento de programas de manejo das comunidades de plantas daninhas, respeitando-se a realidade e condições dos distintos sistemas de produção de algodão.

## Bibliografia


AZEVEDO, D. M. P. et al. **Período crítico de competição entre plantas daninhas e o algodoeiro anual irrigado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 29, n. 9, p. 1417-1425, 1994.

AZEVEDO, D. M. P. et al. **Manejo de plantas daninhas.** In: AZEVEDO, D. M. P. et al. O agronegócio do algodão no Brasil. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.791-832.

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. **Controle de plantas daninhas na cultura do algodoeiro.** Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 154 p.

BELTRÃO, N. E. M et al. **Qualidade extrínseca do algodão brasileiro.** In: Beltrão, N. E. M.; Azevedo, D. M. P. O agronegócio do algodão no Brasil. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.1139-1198.

BRIGHENTI, A. M. **Biologia de plantas daninhas.** In: OLIVEIRA JR., R.S.O.; CONSTATIN, J. Plantas daninhas e seu manejo. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 15-57.

CARDOSO, G. D. et al. **Períodos de interferência das plantas daninhas em algodoeiro de fibra colorida 'BRS Safira'.** Ciências Agronômicas, v. 41, n. 3, p. 456-462, 2010.

CARDOSO, G. D. et al. **Critical periods of weed control in naturally green colored cotton BRS Verde.** Industrial Crops and Products, v. 34, p. 1198-1202, 2011.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura do algodão.** In: FREIRE, E. C. Algodão no cerrado do Brasil. 2. ed. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011. p.613-638.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Algodão série histórica.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 12 jul. 2012.

FERREIRA, A. C. B. **Algodão no limpo rende mais.** A Granja, 724, abr. 2009.

FREITAS, R. S. et al. **Interferência de plantas daninhas na cultura do algodão.** Ceres, v. 50, n. 289, p. 367-381, 2003.

FREITAS, R. S. et al. **Interferência de plantas daninhas na cultura de algodão no sistema plantio direto.** Planta Daninha, v. 20, n. 2, p. 197-205, 2002.

MONQUERO, P. A. **Plantas transgênicas resistentes aos herbicidas: situação e perspectivas.** Bragantia, v. 64, n. 4, p. 517-531, 2005.

PITELLI, R. A. **Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas.** Informe Agropecuário, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

SALGADO, T. P. et al. **Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura do algodoeiro (Gossypium hirsutum).** Planta Daninha, v. 20, n. 3, p. 373-379, 2002.

# Novas Tecnologias no Manejo de Plantas Daninhas no Algodão

Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão[1], Augusto Guerreiro Fontoura Costa[1]

[1] **Embrapa Algodão**

## Introdução

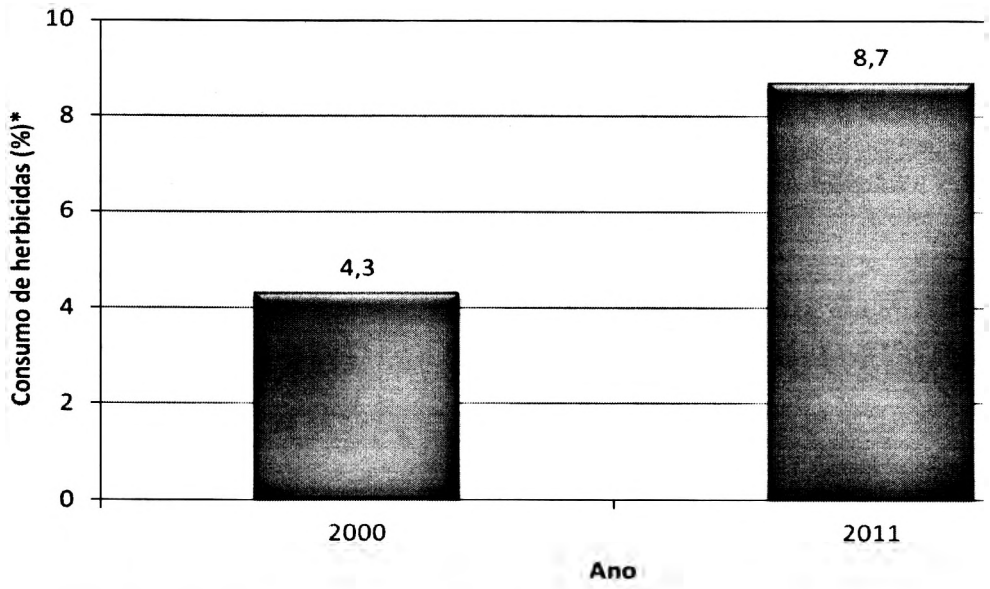
O algodoeiro é considerado altamente sensível a interferência de plantas daninhas devido ao crescimento inicial lento e metabolismo fotossintético C3 (BELTRÃO; AZEVEDO, 1994), a qual pode resultar na redução de mais de 90% da produtividade (AZEVEDO et al., 2008).

Nesse contexto, a atuação dos produtores, técnicos, instituições de pesquisa, universidades e empresas tem promovido avanços no conhecimento e tecnologias que tem sido implantados nas áreas de cultivo do algodoeiro. Sendo assim, neste trabalho, que se constitui a base de uma palestra, foram reunidas informações relevantes sobre as principais novidades no manejo de plantas daninhas ocorridas nos últimos anos, entre as quais se destacaram aquelas relativas ao controle químico associado a biotecnologia.

## Controle químico no cultivo do algodoeiro

Apesar dos demais métodos de controle também serem utilizados, o manejo de plantas daninhas no cultivo do algodoeiro tem sido realizado principalmente por meio do controle químico. De acordo com Christoffoleti et al. (2011), essa preferência se deve a agilidade, eficiência e relação benefício-custo favorável. A partir de dados fornecidos pelo SINDAG (2012)[1], é possível constatar que nos últimos anos a cotonicultura duplicou a participação no consumo de herbicidas entre os demais cultivos no Brasil, pois correspondeu a 4,3% em 2000 e 8,7% em 2011 (Figura 1).

1 [1] *Dados de consumo de herbicidas fornecido pelo SINDAG (Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola). Comunicação pessoal, 2012.*




* Valores obtidos com base em vendas (US$). Fonte: SINDAG (2012).

Figura 1. Participação da cultura do algodão no consumo brasileiro de herbicidas em 2000 e 2011.

Para a cultura do algodoeiro, existem herbicidas registrados no MAPA cujas modalidades de aplicação são: pré-plantio incorporado, pré-emergência e pós-emergência em área total ou jato dirigido (MAPA, 2012). Entretanto, são poucas as opções de produtos seletivos (GUERRA et al., 2011), principalmente para o controle de eudicotiledôneas. Nesse sentido, com a biotecnologia e o surgimento de cultivares geneticamente modificados resistentes a herbicidas, como vinha já acontecendo em outros países e cultivos no Brasil, vem se destacando como uma das mais recentes possibilidades na ampliação de opções de manejo de plantas daninhas na cultura do algodoeiro.

## *Algodoeiros geneticamente modificados resistentes a herbicidas*

Antes da disponibilidade de cultivares geneticamente modificados, herbicidas não seletivos, como glifosato e glufosinato de amônio, somente podiam ser utilizados nos cultivos agrícolas se aplicados antes da semeadura, da emergência ou de uma maneira que a cultura não fosse atingida durante a aplicação, como por exemplo, com jato dirigido. Com os cultivos resistentes a esses agrotóxicos, surgiu a possibilidade da utilização de herbicidas de amplo espectro de controle com aplicações em pós-emergência. Os principais fatores para adoção por parte dos produtores tem sido a simplificação e a possibilidade de redução de custos relacionados ao manejo de plantas daninhas. Além disso, aspectos ambientais positivos tem sido relacionados ao uso da tecnologia devido à redução das práticas que promovem a movimentação do solo, favorecendo menores perdas do mesmo e diminuindo o consumo de combustíveis fósseis (DUKE, 2011). , pois com técnicas não muito corretas de preparo do solo e dos cultivos mecânicos , a erosão é amplificada , chegando e perdas superiores a 40 t de material do solo por ano , ou 12 Kg de solo para cada Kg de algodão produzido , como é colocado por Bertolini et al. ( 1993 ) e por Schmidt ( 1989 ) para os solos do Rio Grande do Sul

Em relação a cotonicultura, Barroso e Hoffmann (2011) reportaram cinco algodoeiros geneticamente liberados para plantio em alguns países do mundo, cujos herbicidas para os quais apresentam resistência estão apresentados na Tabela 1. Ainda conforme os autores, O BXN teve baixa adoção nos EUA e não é mais comercializado desde 2004. Em relação aos algodoeiros resistentes ao glifosato, o Roundup Ready (RR) foi o primeiro a ser liberado, apresentando a limitação de aplicação até o estádio de 4 folhas verdadeiras, pois aplicações mais tardias causam o abortamento de maçãs e redução na produtividade. O Roundup Ready Flex (RR Flex) representa uma segunda geração, distinguindo-se do RR por poder receber pulverizações do herbicida durante todo o ciclo. O Glytol foi aprovado para uso no Brasil em 2010. Em relação ao Liberty Link, o glufosinato de amônio pode ser aplicado durante todo o ciclo, assim como o Roundup Ready Flex.

Tabela 1 – Algodoeiros geneticamente modificados resistentes a herbicidas liberados para plantio.

| Algodoeiro | Herbicida |
|---|---|
| BXN | Bromoxynil |
| Roundup Ready | Glifosato |
| Roundup Ready Flex | Glifosato |
| Glytol | Glifosato |
| Liberty Link | Glufosinato de amônio |

*Fonte: Barroso & Hoffmann (2011).*

Apesar da tendência de ampliação da área cultivada com cultivos geneticamente modificados resistentes a herbicidas, a principal preocupação está relacionada com o risco de surgimento de plantas daninhas resistentes. A intensa e contínua utilização de um mesmo herbicida tem favorecido a pressão de seleção de indivíduos. A partir de informações disponibilizadas por Heap (2012) constata-se mais de 350 casos de biótipos resistentes no mundo nos diferentes cultivos, com 38 ocorrências no Brasil. Apesar de Christoffoleti et al.(2011) reportarem não haver ainda casos registrados na cultura do algodão no Brasil, os autores alertam que resistência ao glifosato deve ser motivo de preocupação para a cotonicultura, indicando a adoção de múltiplos modos de ação, herbicidas residuais e associação de glifosato com outras moléculas como estratégias para o manejo de biótipos resistentes.

Com relação ao futuro dos cultivos geneticamente modificados voltados ao manejo de plantas daninhas, além da possibilidade do desenvolvimento de resistência a novas moléculas, Green & Owen (2011) mencionaram que a tendência será a combinação da resistência ao glifosato com outros herbicidas. Assim, serão disponibilizados aos produtores mais opções de modos de ação que poderão contribuir para a sustentabilidade do uso do glifosato.

## *Considerações finais*

Para o manejo de plantas daninhas na cultura do algodoeiro, as principais mudanças recentes estão ligadas ao controle químico, com destaque para a liberação para plantio de algodoeiros geneticamente modificados resistentes a herbicidas (glifosato e glufosinato de amônio). Com a preocupação do risco do surgimento de plantas daninhas resistentes, deve ser incentivada a integração de estratégias específicas voltadas a manejo e prevenção de biótipos resistentes. A expectativa é que o surgimento de novos algodoeiros resistentes a outras moléculas ou a mais de um herbicida deverão ampliar as opções de manejo de plantas daninhas para os produtores de algodão. O manejo integrado assume assim destaque especial no controle das plantas daninhas , com ênfase para a rotação cultural , manejo de herbicidas , técnicas físicas e de prevenção.

## Bibliografia


AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M.; FERREIRA, A. C. B.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, G. D.; VIEIRA, D. J.; NÓBREGA, L. B. **Manejo de plantas daninhas.** In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. O agronegócio do algodão no Brasil. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 791-832.

BARROSO, P. A. V.; HOFFMANN, L. V. In: FREIRE, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil.** 2. ed. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011. p. 205-224.

BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. **Controle de plantas daninhas na cultura do algodoeiro.** Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 154 p.

BERTOLINI ,D.; LOMBARDI NETO , F.; DRUGOWICH , M. I. **Programa estadual de microbacias hidrográficas .** Campinas , SP : Coordenadoria de Assistência Técnica Integral , 1993 . V. 1 . ( manual Técnico , 38 ).

CHRISTOFFOLETI, P. J.;OVEJERO,R. F. L. ; CARVALHO , J. C. . **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas.** - londrina : Associação Brasileira de Ação a resistencia de Plantas aos Herbicidas ( HRAC ) , 2003 . 90 p.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. SOUZA, R. C. **Manejo de plantas daninhas na cultura do algodão.** In: FREIRE, E. C. Algodão no cerrado do Brasil. 2. ed. Aparecida de Goiânia: Mundial Gráfica, 2011. p. 613-638.

DUKE, S. O. Comparing conventional and biotechnology-based pest management. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 59, p. 5793-5798, 2011.

GREEN, J. M.; OWEN, M. D. K. Herbicide-resistant crops: utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 59, p. 5819-5829, 2011.

GUERRA, N.; OLIVEIRA Jr; R. S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A. M.; SANTOS, G.; JUMES, T. M. C. Persistência de trifloxysulfuron-sodium e pyrithiobac-sodium em diferentes tipos de solo. **Planta Daninha**, v. 29, n. 3, p. 673-681, 2011.

HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds.** Disponível em: <http://www.weedscience.com>. Acesso em: 06 jul. 2012.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **AGROFIT.** Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 30 abr. 2012.

SCHMIDT,A.V. terraceamento na região Sul . In: **Simpósio sobre terraceamento agrícola** , 1988 , Campinas . Anais ... Campinas , SP : Fundação Cargill, 1989 . p. 25-25.

# Classical Biological Control of Weeds in Areas of Conservation: Opportunities for Brazil Based on a Global Perspective

Robert A. Tanner[1], Richard H. Shaw[1] and Guilherme Trivellato[2]

**[1]CABI, Bakeham Lane, Egham, Surrey TW20 9TY, UK**

**[2]CABI, UNESP- Fazenda Experimental Lageado, Rua Dr. Jose Barbosa de Barros 1780, Botucatu, San Paulo, Brazil**

Key words: non-native invasive plant species; the enemy release hypothesis; natural enemies;

## Abstract

Non-native invasive weeds pose a serious threat to the biodiversity of nature conservation areas; but are inherently difficult to manage successfully due often to the scale of the invasion. Chemical control in many situations is prohibited; often with good reason, since it can be challenging to target only the non-desirable plants, without affecting valuable native species. Mechanical control is expensive and often impractical when large areas are invaded. Both of these approaches are not sustainable in the long term. One useful tool is integrated weed management including the introduction of co-evolved natural enemies (arthropods and plant pathogens) from the centre of origin of the target weed. Where scientifically implemented, using a comprehensive evaluation and screening programme, this 'classical' biological control approach (CBC) has an impeccable safety track record. It has proven to be an efficacious, cost-effective and sustainable option for the management of exotic invasive weeds and should be more widely used in Brazil. A current prioritisation exercise is highlighted which should provide a tool for decision makers on which are the best weeds to target with this tried and tested approach.

## Introduction

Trade liberalisation and rapid globalisation are the main causes of increased spread of non-native invasive plant species across the globe over recent decades (Perrings *et al.*, 2002). Non-native or alien invasive species are recognised as the second greatest threat to biodiversity next to habitat loss, and can inflict irreversible damage to ecosystems with incurred costs measured in $-billions (Pimentel *et al.*, 2001; Pimentel *et al.*, 2005). It is widely accepted that only a small proportion of introduced plant species actually become invasive (Williamson, 1996). However, it is this small minority, which incur high economic (Williams *et al.*, 2010) and ecological impacts (Gaertner *et al.*, 2009; Vilà *et al.*, 2011).

The plasticity to adapt life history characteristics has been shown to differ in native and non-native populations of the same species, suggesting that invasive populations gain from being released from regulation in the native range. Invasive non-native plant species are often regarded as being more successful; showing increased biomass (Kleunen *et al.*, 2011; Prati & Bossdorf, 2004), fecundity (Caño *et al.*, 2008; Erfmeier & Bruelheide, 2004; Ebeling *et al.*, 2008), density (Jakobs *et al.*, 2004) and a wider geographical distribution than their native congeners (Crawley, 1987; Jakobs *et al.*, 2004). A number of hypotheses have been proposed to explain why introduced populations show increased performance where the common denominator for

most is the escape from regulation coupled with the ability to adapt and exploit decreased regulation in the introduced range.

The Enemy Release Hypothesis (ERH) posits that when a plant species is introduced into a new region it is released from the influence of natural enemies (both arthropods and plant pathogens) which regulate the population in the native range. Thus, introduced populations are able to show increased growth and range expansion over native plant species (Keane & Crawley, 2002). The release from specialist natural enemy pressure affords non-native plant species an advantage over native plant species, which are suppressed by their array of natural enemies (both specialist and generalist species). In addition to the release from specialist natural enemies, the ERH predicts that specialist natural enemies on closely related species, if present in the introduced range, will not adapt to feed on the introduced plant species, and generalists within the introduced range will have a greater impact on native species over introduced species (Keane & Crawley, 2002).

Classical biological control, defined as the utilisation of co-evolved, host specific natural enemies from the plant's native range to control host populations in the invasive range, aims to redress this imbalance by re-associating the weed with its natural enemies. Classical biological control has been utilised as a pest management tool for over 100 years, where to-date there have been approximately 7,100 introductions (this figure includes repeated introductions in one country) of classical biological control agents, using 2,677 species (Cock *et al.*, 2010). For weeds more than 400 different biocontrol agents have been used against around 150 target plants, totalling over 1,300 introductions around the globe.

High costs of implementing more traditional control methods on a landscape-level, such as chemical application and manual removal, coupled with the declining number of chemical products available to control non-native plant species, mean that classical biological control may be the only sustainable method of control for some of Brazil's most prevalent invasive plant species. When faced with the fact that there has not been a scientific breakthrough in the discovery of a new herbicide, with a new mode of action in the last 30 years; and the application of those on the market is largely undesirable in areas of high conservation status, biological control is one of the main tried and tested environmental safe management tools for invasive plant species and perhaps the only remaining option.

As a continent, South America has a lot to lose from the invasion of non-native plant species into natural areas high in conservation potential. Being one of the mega-bio-diverse regions of the world, containing over 20% of all known species on the planet, the threat posed to South America from invasive plant species is high (GISP, 2005). To-date, cross continental utilisation of classical biological control agents against weed species has been largely a one-way process where South America has been the source of a large number of biological control agents though only the recipient of 5% of the world-wide releases of biological control agents (Ellison & Barreto, 2004). However, in order to tackle some of the invasive plant species issues in the region, classical biological control remains a tangible tool. In Brazil there are 117 plant species regarded as invasive, with a further unknown number which may become invasive and problematic in the future (Zenni & Ziller, 2011).

## *A brief history of classical biological control in Latin America*

Although South America is the source of some of the most invasive plant species in the world, and the source of some of the most successful biological control agents to control these species, there are surprisingly few classical releases against weeds in the region (Barreto, 2008). To-date there have been no releases of classical biological agents against weed species in Brazil, though neighbouring countries (Argentina and Chile) have utilised the management tool for the control of a handful of non-native invasive plant species (Julien & Griffiths, 1998). Chile has had the most releases of biological control agents against weed species where five species have been targeted using six biological control agents. The first target for classical biological control was against *Hypericum perforatum* L. in Chile in 1953 using two Chrysolina leaf beetles *Chrysolina hyperici* Forster and *Chrysolina quadrigemina* Suffrian. Both species proved effective at controlling *H. perforatum* (Marcoy 1959) though *C. quadrigemina* is regarded as the most effective agent (Julien & Griffiths, 1998).

In Argentina, eight biological control agents, both arthropod and fungal agents, have been utilised against three weed targets, namely *Chondrilla juncea* L. *Carduus acanthoides* L. and *Carduus nutans* L. Similar

to the weed species targeted for biological control in Chile, in Argentina the weed targets for biological control were implemented due to the impact the species were having on agricultural habitats and rangelands. To-date no biological control agents have been released against weeds in South America where their impacts are exclusively environmental.

The majority of classical weed biological control releases worldwide have involved arthropod biological control agents. This appears somewhat surprising, with the benefit of hindsight, as fungal control agents, and in particular rusts, have proven to be highly host specific and when applied to control invasive weed populations successes have been spectacular (Evans & Tomley, 1994; Tomley & Evans, 2004), with few non-target impacts recorded (Barton, 2004; Waipara *et al.*, 2009). Chile was one of the first countries to utilise fungal biological control agents against weed species with the release of a rust species against *Rubus constrictus* Lef. & M. *Rubus ulmifolius* Schott. The sheer scale of the invasion by these two *Rubus* species was vast (over 5 million ha in southern Chile) deeming traditional control methods simply unattainable. In 1973, in the infancy the utilisation of fungal classical biological control agents, *Phragmidium violaceum* (Schults) Winter was introduced into Chile from Germany where it quickly established and acted to reduce the spread and density of the two species (Ellison & Barreto, 2004).

## *The threat of invasive non-native plant species to Latin America*

Impact assessments provide baseline data which can underpin policy and research grant applications for the management and control of invasive plant species. However, more research is needed into the perceived effects non-native species have on the ecosystems they invade. Although difficult to put a price on the extinction or displacement of a species, or the invasion of a weed into a natural habitat, relating the impact of a weed in monetary terms to that of ecosystem services is a potential way forward (Vilá *et al.*, 2009). Binimelis *et al.* (2007) classified four main categories of ecosystem services, and Vilá *et al.* (2009) suggest the impacts invasive species can have on them including:

- supporting services where invasive plant species can potentially change the composition of the habitat, species assemblages or soil properties
- provisioning services where invasive plant species can threaten the genetic resources of an environment displacing threatening endangered species
- regulating services where invasive weeds can disrupt the pollinator network or potentially alter erosion regimes
- cultural services tourism is important for the South American countries and invasive species can change recreational uses of the habitats and degrade pristine habitats which effect ecotourism

Where economic data is available, it addresses agricultural habitats or rangeland and considers yield loss or land degradation resulting in the reduced carry-capacity of livestock. *Eragrostis plana* Nees was accidently introduced into Rio Grande do Sul state in Southern Brazil in 1969 as a contaminant of *Chloris gayana* Kunth seed from South Africa (Rosa *et al.*, 2007). The species currently covers some 2-million ha and it is estimated that the economic costs associated with this species between 1995-2005 total US$ 29 million (Rosa *et al.*, 2007).

## *Classical biological control in natural ecosystems*

The implementation of classical biological control programmes, as a tool to combat non-native invasive plants, has been shown to provide significant results, which provide benefits to agriculture and native biodiversity (Van Driesche *et al.*, 2010). In a landmark review paper which dealt with biological control programmes in protected natural ecosystems, Van Driesche *et al.* (2010) showed that of 49 programmes, over 60%, achieved complete or partial control.

Although a biological control programme requires significant funds during the research and monitoring phase of the programme, the benefits have been shown to far outweigh the costs (van Wilgen *et al.*, 2004). In Australia, the cost benefit ratio of a biological control programme against Patterson's curse (*Echium* species) has been predicted to increase over time, where at the beginning of the release phase the cost: benefit ratio

is estimated to be 14:1, rising to 47:1 35 years after release (Nordblum *et al.*, 2001). Classical biological control does not aim to eradicate the host, but instead aims to reduce the invasive population to a threshold where it has a lower ecological impact compared to that before the biological control agent has been applied (McFadyen, 1998). Any impacts on the target weed may take time as the classical biological control agent establishes, adapts to its new environment, and builds up the population and disperses. However, biological control may act to facilitate the natural regeneration of native plant species as they may be able to better compete with the weakened host, due to the damage inflicted by their re-associated co-evolved and host specific natural enemies.

In isolation, biological control alone may not be enough to facilitate habitat restoration, though its cumulative effects are more sensitive on the environment compared to traditional methods such as chemical and manual control. Long-term monitoring of the biocontrol agent, the host population and the successional changes in native/invasive plant species is required to avoid the void left by the suppression of the target species filled by yet another invasive non-native species. The real issue here is to understand the impact of the target species at an ecosystem level.

## *Target selection- an important aspect in gaining acceptance*

An important aspect of the adoption of weed classical biological control is appropriate target selection, especially in South America, where the history of weed biological control is not widely known and public, governmental and scientific opinion would strongly influence the adoption of the weed management tool. Barreto (2008) highlights that there are a large number of non-native plant species in Brazil where there is a potential conflict of interest over proposals for their control. Many of the grass species introduced into Brazil, although they have become problematic and invasive in some natural ecosystems, still hold economic value as fodder to the large cattle industry (Ellison & Barreto, 2004). Potentially, in the future, although it may already be the case, there may come a tipping point where the cost (impact) of the species outweighs the benefits as these species invade and impact on natural ecosystems. However, these 'conflict of interest species' may still not be the best first targets for Brazil (Barreto, 2008; Ellison & Barreto, 2004). Target selection is further discussed below when considering specific case studies.

## *Prioritising weeds for classical biological control*

When faced with such a large number of non-native invasive plant species to potentially manage, governments, land-managers and scientists alike must prioritise their efforts based on the limited resources available. Understandably, at a government and policy level, resource allocation for the control and management of non-native invasive species has been led by economics - the costs of a particular species to the economy. Prioritising weeds for classical biological control was originally developed by the Australians for their invasive plant species issues (Paynter *et al.*, 2009). Effectively, the prioritisation tool provides a ranking system for invasive plant species based on their suitability for biocontrol. Since the adoption of the tool for Australia, the methodology has been utilised in the Pacific islands (Paynter, 2010), the UK South Atlantic Islands (CABI, 2012) and is currently being adapted for weed targets in China and Brazil from funding from the CABI Development Fund. The prioritisation tool evaluates target species under four categories:

***The importance of the weed and the desirability of biological control.*** The questions require yes or no answers and aims to eliminate species which are known to be native, or potentially native, and species where the benefit may outweigh the impacts of the weed. As in the case of the latter, species with monetary value to sectors of society, for example *Coffea Arabica* L. are excluded from further evaluation as a potential conflict of interest may arise.

***The impact of the weed.*** In total, ten questions are asked for each weed based on the occurrence of the weed in Brazil, the ecological and economic impact of the weed in Brazil and other geographical regions,

the human and/or animal health impacts and the type of habitats invaded by the weed. Any one species can have a maximum score of 100 and only those species with an impact score greater than 40 are evaluated further. As previously mentioned, a classical biological control programme requires reasonable funding, from initiation to release, if it is to be considered successful. Therefore, a weed species should only be considered if it has a suitably high impact to justify the resources required for a biocontrol programme.

***The effort required for biological control research.*** Where plant species have been successfully control using classical biological control in other geographical regions, the potential cost of implementing a control programme against the target in Brazil is likely to be significantly reduced. In these cases, a lot of information would have already been gathered on the host range and climatic limitations of the agent utilised. Thus, it may only be considered necessary to host range test a small selection of key plants from the region. If not a successful target in other geographical regions, information may still be available on the natural enemy complex in the plants native range and thus may significantly reduce the effort required to realise biological control against the target.

***Predicting the potential impact of biocontrol against the target.*** This section includes questions on the target weed and the habitat it invades in an effort to predict the potential impact of a biocontrol agent on the target. Questions include information on the reproduction mechanisms of the plant, if the species spreads by seed alone, or by seed and vegetatively. Additionally, questions are asked on the habitat the weed predominantly occurs in, is the target a weed of agricultural systems or environmental systems, where the former may prove harder to implement classical biological control.

Based on the scoring of the three categories an overall biocontrol feasibility score is calculated where the equation is:

## *Impact Score x Feasibility Score x (1/Effort)*

The result of prioritising weed targets for classical biological control in Brazil will be to form a ranked list highlighting the top ten or twenty species where the feasibility of completing a successful biological control programme against these targets is high.

## *Case studies*

The following section highlights case studies of invasive non-native plant species in Brazil and details their impact, where known, and the feasibility for their classical biological control to show the aspects being considered under this on-going research.

***Cryptostegia grandiflora* R. Br.** – commonly known as rubber-vine weed is an asclepiadaceous climbing vine from Madagascar which has been the subject of a successful biological control programme in Australia using the co-evolved rust *Maravalia cryptostegiae* (Cummins) (Tomley & Evans, 2004). In Brazil *C. grandiflora* invades extensive areas of the steppic-savanna in the north –east of Brazil (Barreto, 2008). In Australia, the invasion by *C. grandiflora* had significant impact on the native biological diversity and the economic productivity of the invaded region (Tomley & Evans, 2004). As a target for classical biological control in Brazil, this species is arguably the most attractive target as there is no conflict of interest associated with this species.

***Acacia mearnsii* De Wild.**- remains an important commodity species in Brazil due to the plant being grown for the extraction of vegetable extracts for the leather industry which makes the prospects for classical biological control against this species slim. However, *A. mearnsii* invades natural habitats from subtropical ombrophilous forest to Brazilian savannas where the species can outcompetes native plants so biological control may potentially be an appropriate management tool should the negative impacts begin to outweigh the benefits. Biological control has been utilised againt *A. mearnsii* in South Africa with both a seed feeding weevil *Melenterius maculatus* Lea. a mycoherbicide containing *Cylindrobasidium*. More recently a Cecidomyiid midge, *Dasineura rubiformis*, which forms galls in the flowers and prevents pod development was released (CABI, 2012).

***Prosopis juliflora* (Sw.) DC.** - is highly invasive in the north-east of Brazil where it invades watercourses in the semi-arid Caatinga region. Several biological control programmes have been implemented against this species across the globe in particular using seed-feeding bruchid beetles. In Brazil, there remains a conflict of interest with this species as *P. juliflora* is considered a valuable plant in many arid regions in South America. However, biological control may still be an option for this species and may act to halt the spread of the tree into other areas of nature conservation. The seed-feeding insects *Mimosetes protractus* (Horn.) and *Neltumius arizonensis* (Schaeffer) was introduced to eastern South Africa in conjunction with the bruchid beetles *Algarobius Prosopis* (LeConte) and *A. bottimeri* Kingsolver for the control of invasive *Prosopis* species. *N. arizonensis* and *A. prosopis* were successful in establishing themselves in large numbers and having a significant effect on *Prosopis* spp., whereas the other species were only found in low numbers (CABI, 2012). The same two bruchid species were introduced into the Ascension Islands where *P. juliflora* occupies some 80% of the island. A Gelechiid moth, *Evippe* sp. from Argentina has been released for the additional control of *P. juliflora* in Australia where it is inflicting high levels of damage on the population (CABI, 2012).

***Pinus elliottii* Engelm.** - has a significant occurrence in Brazil where the 13N Brazil database records over 165 records. Although invasive in 11 physiognomic regions from deciduous or semi deciduous forests to alpine meadows in Brazil this species is not regarded as a suitable target for classical biological control due to the conflicts of interest that arise with this species and others from the same genus (Barreto, 2008). In southern Brazil, the grasslands, sand dunes and savannahs are threatened by the encroachment of *Pinus* species, in particular *P. elliottii* and some conservationist and land managers may welcome the control of the species within these regions. However, striking a balance between habitat protection and forest production highlights potential problems for classical biological control.

***Tecoma stans* (L.)** - is invasive in nine physiognomies in Brazil, and a problematic weed in natural and agricultural environments. Host specificity tests on two rust fungus species, namely, the microcyclic *Prospodium transformans* (Ellis & Everh.) and the macrocyclic *P. appendiculatum* Winter from Mexico are underway in South Africa. A raceme-feeding membracid and the pyralid pod-feeding moth Clydenopteron sp. are to be introduced into quarantine in South Africa for possible biological control (CABI, 2012).

***Melinis minutiflora* P. Beauv.** - and other grass species constitute a large proportion of the non-native plant species in Brazil. *Urochloa decumbens* (Spapf.) has the highest number of occurrences of any invasive species in Brazil (13N brazil database) though as highlighted by Ellison and Barreto (2004) there is a difficulty in adopting classical biological control against grass species and this is further emphasised where to-date there have been no releases of arthropod agents against grass targets (Julien & Griffiths, 1998). Potentially, fungal agents may provide a more suitable approach due to their species specific host specificity though as previously discussed before any biological control programme could be initiated against this group of weeds a cost-benefit analysis would be essential to gain support.

***Eragrostis plana* Nees**, - as previously highlighted, could be a potentially interesting target for classical biological control due to the high environmental and economic impact this weed has in the Southern Brazil. However, before the implementation of a biological control programme against this species a full literature review should be conducted on the natural enemies, in particular fungal pathogens, in the native range.

***Hedychium* spp.** - two Hedychium species are considered invasive in Brazil, *Hedychium coronarium* J. König and *Hedychium gardnerianum* Sheppard. Both species are native to the Eastern Himalayas, Nepal and China, and were introduced into South America some 300 years ago. *H.coronarium* is now present in all 12 phytophysiognomies in Brazil from salt meadows to subtropical ombrophilous forests (Zenni & Ziller, 2011). Since 2008, the Hedychium complex has been the subject of a classical biological control programme from New Zealand and Hawaii. Surveys in the plants native range have identified a number of potential agents including a Chloropid shoot mining fly and a *Puccinia* rust fungus, both of which cause substantial damage to the species in the native range.

## *Conclusions for Brazil*

Gardener *et al.* (2011) highlight that Latin American countries should adopt biological control programmes where the target has been controlled successful in other geographical regions. For Brazil, this is potentially the best way forward for the control of many invasive weeds. The end result of the current prioritisation project will be a ranked list of target weeds highlighting those species for which the biocontrol option is most favoured. The best targets are always likely to be those which have serious impacts and for which off the shelf agents are available that have proven successful against the same target weed in a similar eco-climatic range. Our current research will aid the decision-making process through the production of an official report and an associated peer-reviewed paper.

**Acknowledgments**

The authors are grateful to Quentin Paynter for allowing use of the prioritisation tool for weed targets and biological control. We are also grateful to the CABI Development Fund (CDF) for providing funding to undertake this research.

**Bibliografia**

*Barton, J. (2004)* ***How good are we at predicting the field host-range of fungal pathogens used for classical biological control of weeds?*** *Biological Control,* **31**, *99-122.*

*Barreto, R.W. (2008)* ***Latin American weed biological control science at the crossroads.*** *In (eds. M.H. Julien, R. Sforza, M.C Bon, H.C. Evans, P.E. Hatcher, H.L. Hinz and B.G. Rector) Proceedings of the XII International symposium on biological control of weeds. 109-121.*

*Binimelis R, Born W, Monterroso I, Rodríguez-Labajos B (2007)* ***Socio-economic impacts and assessment of biological invasions Biological Invasions. Ecological Studies*** *(ed W. Nentwig), pp. 331–347. Springer, Berlin.*

*CABI (2012) Invasive Species Compendium. www.cabi.org/isc/*

*Caño, L., Escarré, J., Fleck, I., Blanco-Moreno, J. & Sans, F.X. (2008)* ***Increased fitness and plasticity of an invasive species in its introduced range: A study using Senecio pterophorus.*** *Journal of Ecology,* **96**, *468-476.*

*Cock, M.J.W., Lenteren, J.C., Brodeur, J., Barratt, B.I.P., Bigler, F., Bolckmans, K., Cônsoli, F.L., Haas, F., Mason, P.G. & Parra, J.R.P. (2010)* ***Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control?*** *Biocontrol,* **55**, *199-218.*

*Crawley, M.J. (1987)* ***What makes a community invasible? Colonisation Succession and Stability*** *(eds A.J. Gray, M.J. Crawley & P.J. Edwards), pp. 429-453. Blackwell Scientific. Oxford, UK.*

*Ebeling, S.K., Hensen, I. & Auge, H. (2008)* ***The invasive shrub Buddleja davidii performs better in its introduced range.*** *Diversity and Distributions,* **14**, *225-233.*

*Erfmeier, A. & Bruelheide, H. (2004)* ***Comparison of native and invasive Rhododendron ponticum populations: Growth, reproduction and morphology under field conditions.*** *Flora (Jena),* **199**, *120-133.*

*Ellison, C.A. & R.W. Barreto. (2004).* ***Prospects for the management of invasive alien weeds using co-evolved fungal pathogens:*** *a Latin American perspective Biological Invasions* **6**, *23-45.*

*Evans, H.C. & Tomley, A.J. (1994)* ***Studies on the rust, Maravalia cryptostegiae, a potential biological control agent of rubber-vine weed, Cryptostegia grandilfora (Asclepiadaceae: Periplocoideae),*** *in Australia, III: Host range. Mycopathologia,* **126**, *93-108.*

*Gaertner, M., Breeyen, A., Cang, H. & Richardson, D.M. (2009)* ***Impacts of alien plant invasions on species richness in Mediterranean-type ecosystems: A meta-analysis.*** *Progress in Physical Geography,* **33**, *319-338.*

*Gardener, M.R., Bustamante, R.O., Herrera, I., Durigan, G., Pavello, V.R., Moro, M.F., Stoll, A., Langdon, B., Baruch, Z., Rico, A., Nunez, A.A. & Flores, S. (2011)* ***Plant invasion research in Latin America: fast track to a more focued agenda.*** *Plant ecology and diversity. DOI:10.1080/17550874.2011.604800*

*Jakobs, G., Weber, E. & Edwards, P.J. (2004)* **Introduced plants of the invasive Solidago gigantea (asteraceae) are larger and grow denser than conspecifics in the native range**. *Diversity and Distributions,* **10**, *11-19.*

*Julien, M.H. & Griffiths, M.W. (1998)* ***Biologial control of weeds: A world catalogue of***

*agents and their target weeds.* ***Fourth Edition. CAB International, Wallingford***

*Keane, R.M. & Crawley, M.J. (2002)* ***Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis.*** *Trends in Ecology & Evolution,* **17**, *164-170.*

*Kleunen, M., Schlaepfer, D.R., Glaettli, M. & Fischer, M. (2011)* ***Preadapted for invasiveness: Do species traits or their plastic response to shading differ between invasive and non-invasive plant species in their native range?*** *Journal of Biogeography,* **38**, *1294-1304.*

*Marco, R.I. (1959)* ***Notes on the biological control of pests of agriculture in Chile. Organ.*** *Plant protection Bulletin.* **8**: *25-30.*

*McFadyen, R.E.C. (1998) Biological control of weeds.* ***Annual Review of Entomology, 43,*** *369-393.*

*Nordblum T., Smyth M., Swirepik A., Sheppard A. and Briese D. (2001)* ***Benefit–cost analysis for biological control of Echium weed species (Patterson's***

***curse/salvation Jane).*** *The Co-Operative Research Centre (CRC) for Weed*

*Management Systems:* ***An impact assessment, pp. 35-43. CRC for Weed Management Systems Technical Series No. 6,*** *Adelaide, Australia.*

*Paynter, Q. (2010)* ***Prioritisation of targets for biological control of weeds on Pacific Islands.*** *Landcare Research. L0910/190*

*Paynter, Q., Hill, R., Bellgard, S. & Dawson, M. (2009)* ***Improving targeting of weed biological control projects in Australia.*** *Landcare Research. LC0809/072*

*Perrings, C., Williamson, M., Barbier, E.B., Delfino, D., Dalmazzone, S., Shorgren, J., Simmons, P. & Watkinson, A. (2002)* ***Biological invasion risks and the public good: An economic perspective.*** *Conservation Ecology,* **6**, *1-10.*

*Pimentel, D., McNair, S., Janecka, J., Wightman, J., Simmonds, C., O'Connell, C., Wong, E., Russel, L., Zern, J., Aquino, T. & Tsomondo, T. (2001)* ***Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions.*** *Agriculture, Ecosystems & Environment,* **84**, *1-20.*

*Pimentel, D., Zuniga, R. & Morrison, D. (2005)* ***Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States.*** *Ecological Economics,* **52**, *273-288.*

*Prati, D. & Bossdorf, O. (2004)* ***Allelopathic inhibition of germination by Alliaria petiolata (Brassicaceae).*** *American Journal of Botany,* **91**, *285-288.*

*Rosa, F.L.O.; Ramos, J.V.S.; Ziller, S.R. 2007.* ***The economic impacts of Eragrostis plana in Southern grasslands of Brazil.*** *The Nature Conservancy South America Invasive Species Program*

*Tomley, A.J. & Evans, H.C. (2004)* ***Establishment of, and preliminary impact studies on, the rust, Maravalia cryptostegiae, of the invasive alien weed, Cryptostegia grandiflora in Queensland, Australia.*** *Plant Pathology,* **53**, *475-484.*

*van Driesche, R.G., Carruthers, R.I., Center, T., Hoddle, M.S., Hough-Goldstein, J.et al. (2010)* ***Classical biological control for the protection of natural ecosystems.*** *Biological Control,* **54**, *S2-S33.*

*van Klinken, R.D., Hoffmann, J.H., Zimmermann, H.G. & Roberts, A.P. (2009) 18 -* ***Prosopis species (Leguminosae).*** *– in: Muniappan, R., Reddy, G.V.P. & Raman, A. (eds.) Biological Control of Tropical Weeds using Arthropods. - Cambridge University Press: 353-377.*

*van Wilgen, B.W., de Wit, M.P., Anderson,H.J., Le Maitre, D.C., Kotze, I.M., Ndala, S., Brown B, & Raphol, M.B. (2004)* ***Costs and benefits of biological control of invasive alien plants: case studies from South Africa.*** *South African Journal of Science,* **10**, *113-122.*

*Vilà, M., Espinar, J.L., Hejda, M., Hulme, P.E., Jarošík, V., Maron, J.L., Pergl, J., Schaffner, U., Yan, S. & Pyšek, P. (2011)* ***Ecological impacts of invasive alien plants: A meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems.*** *Ecology Letters,* **14**, *702-708.*

*Waipara, N.W., Barton, J., Smith, L.A., Harman, H.M., Winks, C.J., Massey, B., Wilkie, J.P., Gianotti, A.F. & Cripps, M.G. (2009)* ***Safety in New Zealand weed biocontrol: A nationwide pathogen survey for impacts on non-target plants.*** *New Zealand Plant Protection.* **62**, *41-49.*

*Williams, F., Eschen, R., Harris, A., Djeddour, D., Pratt, C., Shaw, R.S., Varia, S., Lamontagne-Godwin, J., Thomas, S.E. & Murphy, S.T. (2010)* ***The Economic Cost of Invasive Non-Native Species to the British Economy.*** *CABI, Wallingford, UK.*

*Williamson, M. (1996)* ***Biological Invasions,*** *Chapman & Hall, London.*

*Zenni, R.D. & Ziller, S.R. (2011)* ***An overview of invasive plants in Brazil.*** *Revista Brazil. Bot.* **34**: *431-446.*

# *Manejo de Plantas Daninhas em Áreas de Reflorestamento de Eucalipto na Fibria - MS*

Eng. Florestal M. Sc. Ernesto Norio Takahashi, Pesquisador de Solos, Manejo e Nutrição do Centro de Tecnologia da Fibria.
Email: ernesto.takahashi@fibria.com.br

**Eng. Florestal Dr. José Eduardo Petrilli Mendes, Pesquisador de Proteção Florestal do Centro de Tecnologia da Fibria. Email: jose.mendes@fibria.com.br**

Palavra-chave: eucalipto, controle de plantas daninhas, certificação florestal, novas tecnologias.

## *Introdução*

Para a maximização da produtividade florestal de eucalipto vários fatores devem ser considerados: fertilização equilibrada, preparo de solo que permita o desenvolvimento do sistema radicular, espaçamento suficiente para crescimento da planta, material genético adequado ao sítio, o controle das pragas e doenças e, especialmente, o controle de plantas daninhas (PD). A região Sul do Mato Grosso Sul é caracterizada por alguns aspectos que tornam o controle de PD fator extremamente importante para a produção do eucalipto. Um deles é que grande parte das áreas onde o eucalipto é plantado atualmente são originalmente do bioma Cerrado e transformado em pastagens. O bioma Cerrado é reconhecido como áreas onde existem plantas com sistema radicular profundo e resistente, que podem se regenerar quando o ambiente seja propício. Das pastagens é originado as plantas extremamente agressivas como as *Brachiaria* sp. e *Panicum* sp, que são capazes de produzir um banco de sementes muito rico e quando estimulados pela presença de água, calor e luz desenvolvem-se intensamente. Assim, o Cerrado e a pastagem, estimulados pelo manejo de eucalipto acabam concorrendo por água, nutrientes, luz e espaço. Este material tem como objetivos descrever a relação da convivência Eucalipto *vs* PD e a descrição do manejo de plantas daninhas em plantio de eucalipto da região Sul do Mato Grosso do Sul.

## *Por que controlar as PDS?*

O controle de plantas daninhas em qualquer cultura agrícola ou florestal é imprescindível, pois a concorrência por água, nutrientes, luz e espaço entre as mesmas é intensiva. Vários estudos já foram desenvolvidos no Brasil para mostrar o efeito desta concorrência na queda de produtividade do eucalipto. Pesquisa desenvolvida por Toledo et al. (1998) ao nível de campo, indicaram que o período total de prevenção à interferência a *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* é de no mínimo 78 dias para que o eucalipto atinja queda de produtividade de até 5%. Costa et al. (2004), mostraram perdas significativas de produtividade da eucaliptocultura ocasionadas pela competição com *Commelina benghalensis* em pesquisas realizadas em vasos, onde mostraram que para a biomassa seca (ramos, folhas e caule) o período total de prevenção à interferência é de 10 e 20 dias após transplante no verão e inverno, respectivamente. Já Souza et al. (2003) e

Takahashi et al. (2004) constataram efeitos alelopáticos de plantas daninhas que inibiram o desenvolvimento do eucalipto. Em resumo, as PDS são altamente prejudiciais à cultura do Eucalyptus e por isso precisam ser manejadas para que não causem prejuízos à cultura.

## *Como, quando e onde controlar?*

Nos plantios de eucaliptos a forma mais efetiva e usual de controle de PD é por meio da aplicação de herbicidas. Em áreas de implantação (primeiro ciclo), onde originalmente predominava pastagem com folhas estreitas (braquiária, capim colonião, grama batatais, etc), faz-se uma aplicação em área total, de forma tratorizada de herbicidas pós-emergentes a base de glyphosate, sendo as doses variáveis entre 1,4 e 2,8 kg $ha^{-1}$ de ingrediente ativo, em um volume de calda ao redor de 200 l $ha^{-1}$. O período de dessecação é de cerca de 30-40 dias e então é realizada a subsolagem de 0,5 a 1,5 metros de faixa e subsequentemente o plantio das mudas. O fato de se aguardar um período entre a dessecação da braquiária e o plantio do eucalipto corrobora com a recomendação de Takahashi et al. (2005), que observou que o crescimento inicial de eucalipto é prejudicado quando este é plantado em áreas onde a braquiária foi dessecada a menos de trinta dias. Logo após o plantio das mudas faz uma aplicação do pré-emergente a base de isoxaflutole ou flumioxazina na linha de plantio (*over the top*) na dose de 180 e 250 g $ha^{-1}$ do produto comercial respectivamente, e volume de calda ao redor de 200 l $ha^{-1}$ efetivamente coberto pela pulverização Uma nova aplicação é realizada (remonta) entre 45 a 60 dias após a primeira com um dos dois produtos citados acima, dose e volume de calda do manejo anterior. No entanto, esta operação pode ser ou não conjugada com uma limpeza mecânica da faixa de aplicação, realizando a limpeza da superfície do solo com um implemento denominado "lamininha". Este implemento é composto de duas lâminas invertidas na forma de "V", onde as PD e parte do solo da superfície são removidos da linha para a entrelinha, com o objetivo de aumentar a área de atuação do herbicida pré-emergente.

Para área reforma (a partir do segundo ciclo) as atividades de controle de PD são muito semelhantes à implantação. No entanto, algumas dificuldades operacionais são impostas nesta modalidade de plantio e devem ser superadas para obter um plantio de qualidade: 1) o controle das PD em fase pré-colheita com pelo menos trinta dias de antecipação pode incluir: roçada mecânica para cerrado e controle químico com glyphosate para em área total utilizando o equipamento *boonjet*, com foco principal para o controle de gramíneas. 2) preparar o solo adequadamente tendo como dificuldade a presença dos resíduos florestais (galho, folhas), isto é, obter solo exposto para a aplicação do herbicida pré-emergente. 3) tocos do plantio anterior que dificultam a movimentação de maquinários e implementos no talhão ainda vão gerar brotações da floresta anterior, que também precisarão ser controladas.

Em relação à modalidade manejo de rebrota, da mesma forma das áreas de reforma é essencial o controle das PD em fase pré-colheita com pelo menos trinta dias de antecipação em relação ao corte da floresta anterior.

Para as três modalidades de silvicultura citadas acima o monitoramento de PD determina a necessidade ou não de um controle. Nos casos em que o monitoramento de PD identifica a necessidade de controle, geralmente, é aplicado o herbicida pós-emergente glyphosate na entrelinha utilizando se o equipamento de aplicação barra protegida, conhecido popularmente como "Conceição". No entanto, a infestação dependerá muito da época do ano (presença de umidade do solo) e fertilização adequada e material genético do eucalipto, que contribuem com o arranque inicial de crescimento do eucalipto e que consequentemente inibirão o desenvolvimento das PD. Os resíduos deixados sobre o solo e a própria massa de gramíneas em decomposição também contribuem para o manejo das plantas daninhas em plantios de eucalipto.

## *Uso de herbicida pós-emergente glyphosate: eficiência vs danos*

O controle de PD (gramíneas), geralmente é realizado com a aplicação do herbicida glyphosate. Este herbicida é um produto largamente utilizado no setor florestal por ser um produto de amplo espectro de ação, baixo custo, disponível no mercado, registrado e recomendado para uso na cultura de eucaliptos, tem baixa toxicidade e é muito eficiente para controle de gramíneas e várias espécies de dicotiledôneas. No entanto,

vários estudos têm mostrado que este produto causa efeitos danosos ao eucalipto em idades jovens, tanto em aplicação sobre a folha como no caule ainda não suberizado (Salgado et al, 2011; Tuffi Santos et al, 2004). Os sintomas da deriva do glyphosate são evidentes: queima, necrose e deformação das folhas, ramos tortuosos, perda da dominância apical, superbrotação das gemas, incluindo a morte da apical e seca dos ponteiros. Em nível de campo, a aplicação do glyphosate é feita em eucalipto na faixa de idade de 0 a 12 meses, período em que ainda há estímulos para desenvolvimento das gramíneas, mas, por outro lado, também é a fase de crescimento inicial da floresta, onde há grande possibilidade do produto causar danos significativos no eucalipto. Este fato explica parte da razão do setor florestal buscar metodologias alternativas, como uso da barra protegida (redução da deriva do glyphosate) e também do herbicida pré-emergente (redução do volume de uso do glyphosate, principalmente, nas proximidades das mudas de eucaliptos).

Salgado (2010) realizou uma ampla pesquisa sobre a aplicação de doses crescentes de glyphosate em diferentes fases de crescimento de um clone de eucalipto em campo e concluiu que dos 3 aos 7 meses após o plantio, apenas plantas que receberam doses acima de 144 g i.a $ha^{-1}$ glyphosate tiveram redução de produtividade. Aos 9 meses após o plantio, não houve efeito das aplicações de glyphosate, em doses de até 432 g i.a $ha^{-1}$ na produção do eucalipto.

Portanto, este fato indica claramente que a ferramenta glyphosate pode ser utilizada largamente pela silvicultura, entretanto, a tecnologia de aplicação deve ser adequada a cada momento em relação ao porte da floresta e das plantas daninhas, bem como a localização das mesmas em relação ao eucalipto. Usando-se as técnicas corretas, considerando-se, principalmente, a fase de crescimento do eucalipto, a dose do produto e a precisão da aplicação, buscando sempre utilizar formas de redução a deriva, o glyphosate deverá continuar sendo usado por muito tempo no manejo de plantas daninhas em florestas..

## *Certificação florestal e sustentabilidade*

Quaisquer sistemas de produção causam impacto ao meio ambiente em menor ou maior grau. Neste contexto a sustentabilidade significa produzir a cultura econômica através do manejo intensivo e buscando minimizar todos os impactos ambientais potenciais. Os impactos podem estar relacionados à contaminação do solo com os defensivos químicos, bem como, a geração de fumaça pelos tratores e erosões causadas pelo manejo inadequado do solo. Assim, as Certificações (ISO 14001, FSC e CERFLOR) executam um papel importante para garantir ao mercado consumidor a produção sustentável de determinado produto. As empresas que desejam receber estas certificações passam por avaliações intensas e frequentes do processo de produção e documentação por certificadoras credenciadas, onde é verificado o enquadramento das mesmas aos requisitos exigidos pelas normas da certificação em questão.

Dentre os requisitos requeridos pelas Certificadoras dois deles refletem de forma muito significativa no manejo de PD de eucalipto:

1) Cumprimento legal, seja de âmbito Federal, Estadual e até a nível Municipal. Um deles está relacionado ao uso de defensivos químicos (agrotóxicos) o Decreto número 4.074 (04/01/2002), regulamentado pela Lei número 7.802 (11/07/1989), que dispõe e regulamenta todos os aspectos relacionados aos agrotóxico e afins no Brasil. Segundo estes instrumentos legais, de forma resumida, os agrotóxicos e afins são definidos como produtos e agentes de processos para o beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes. De acordo com o artigo 84, as responsabilidades administrativa, civil e penal pelos danos causados à saúde das pessoas e ao meio ambiente, em função do descumprimento do disposto na legislação pertinente a defensivos agrícolas, seus componentes e afins, recairão sobre: a) O produtor, quando produzir defensivos agrícolas, seus componentes e afins em desacordo com as especificações constantes do registro. b) O profissional que prescrever a utilização de defensivos agrícolas e afins em desacordo com as especificações técnicas. c) O comerciante, o empregador, o profissional responsável ou prestador de serviços que deixar de promover as medidas necessárias de proteção à saúde ou ao meio ambiente. d) O usuário ou o prestador de serviços, quando proceder em desacordo com as recomendações do fabricante ou dos órgãos

sanitário-ambientais. e) As entidades públicas ou privadas de ensino, assistência técnica e pesquisa, que promoverem atividades de experimentação ou pesquisa de defensivos agrícolas, seus componentes e afins em desacordo com as normas de proteção da saúde pública e do meio ambiente. Com base na lei acima se conclui que o uso dos defensivos químicos no plantio de eucalipto é restringido pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), onde apenas os produtos e modalidade de aplicação registrados podem ser aplicados na cultura, restringindo muitas possibilidades de uso de ferramentas químicas de grande interesse para o setor florestal. Entretanto, vale ressaltar que mesmo antes das certificações florestais, as empresas sempre tiveram que cumprir a legislação vigente para poderem produzir, mas os sistemas de certificação deram maior visibilidade e proporcionaram maior controle sobre este aspecto da produção florestal sutentável.

2) A Certificação FSC, especificamente, restringe o uso de vários defensivos químicos, baseados em principalmente em características toxicológicas e químicas dos mesmos (FSC, 2007). Estes são baseados em indicadores qualitativos (toxicidade aguda aos mamíferos e pássaros, toxicidade aguda aos organismos aquáticos, persistência no solo ou água, bioacumulação, carcinogênese, mutagênese dos animais), quantitativos (metais pesados, resíduos de dioxina, legislação internacional como a adesão a convenções sobre o uso ou proibição de agrotóxicos e pela classificação toxicológica da Organização Mundial de Saúde - OMS). Deste modo, diversos defensivos potencialmente eficientes para o manejo de PD em eucalipto foram proibidos devido aos requisitos desta certificação. Um dos exemplos clássicos de produto originalmente utilizado em larga escala como herbicida pré-emergente no plantio de eucalipto para controle de PD e proibido devido aos critérios de classificação de "produtos altamente perigosos" do FSC foi o Oxyfluorfen. Este produto foi proibido devido ao índice de bioacumulação do produto, Kow logP = 4.47, sendo que o permito é de no máximo 3 (baseado no *US EPA standard PBT Final Rule, Federal Register 64(209), p. 58669).*

Por outro lado, as certificações florestais dão maior visibilidade às boas práticas operacionais dos empreendimentos certificados e oferece mais segurança aos clientes das empresas certificadas em relação ao respeito e cumprimento dos requisitos de sustentabilidade econômica, social e ambiental do empreendimento florestal certificado.

## *Novas tecnologias e herbicidas potenciais para uso florestal*

Novas metodologias para melhorar a eficiência de aplicação e novos herbicidas com foco em sustentabilidade têm sido as premissas utilizadas pelo setor de pesquisa e desenvolvimento das empresas (florestais e químicas) em conjunto com os órgãos de pesquisa e universidades.

Em relação à tecnologia de formulações alternativas, para herbicidas residuais (pré-emergentes), testes recentes têm indicado um bom potencial do uso de grânulos inertes de argila impregnados com herbicidas pré-emergentes (CARBONARI et al, 2010), tecnologia que visa realizar a aplicação sobre as plantas sem risco de contaminação via parte aérea. Outras possibilidades de ganhos com a adoção desta tecnologia são: não necessitar cultivo ou exposição do solo para a aplicação dos herbicidas residuais, pois as partículas de argila impregnadas conseguem ultrapassar a camada de resíduos depositada na superfície do solo, chegando ao mesmo sem a necessidade de remoção dos resíduos e exposição do solo, consequentemente, contribuindo para a conservação do solo; e a possibilidade de aumento de residual de controle das

Estudos realizados por (CARBONARI et al, 2010) foram focados na aplicação aérea dos herbicidas sulfentrazone e isoxaflutole em duas doses e utilizando como veículo os grânulos de argila (densidade de 1,05 g/cm$^3$, alta capacidade de absorção, alta resistência ao desgaste e tamanho das partículas entre 500 mícrons e 1 mm), comparado com aplicações via líquida dos mesmos herbicidas com um pulverizador convencional, acoplado a um trator. Em geral, foram observados, nas plantas daninhas avaliadas, resultados de controle semelhantes ou superiores para a aplicação aérea (via grânulos) até 75 DAA e superiores para essa modalidade de aplicação aos 110 DAA, indicando uma extensão no período do efeito do residual dos herbicidas estudados.

Em relação a outros herbicidas potenciais o sulfentrazone (pré-emergente) é uma opção interessante por ser um produto que controla tanto plantas daninhas de folhas estreitas como também algumas de folhas largas. Entretanto, quando aplicado de forma inadequada no eucalipto resulta em necrose generalizada

nas folhas novas e velhas, ao redor destas necroses formam-se regiões arroxeadas. Observam-se também a deformação extrema das folhas novas, regular nas folhas velhas e a perda da dominância apical das plantas. As características de crescimento indicaram redução de até 80% em relação a plantas não intoxicadas pelo herbicida (Takahashi et al., 2009).

A busca de novos herbicidas pelo setor florestal tem sido muito freqüente, além dos requisitos ambientais e de sustentabilidade do manejo e do negócio florestal, são características desejáveis nos herbicidas potenciais para o setor florestal a seletividade em relação ao eucalipto, o que permitiria a aplicação de forma mecanizada, em área total e sem riscos para a cultura. Outra característica desejável é que o residual de controle seja o maior possível, evitando-se assim a necessidade de repetições de aplicações de herbicidas no ambiente e minimizando os riscos de exposição de trabalhadores envolvidos nas atividades relacionadas ao manejo de plantas daninhas.

Novas possibilidades de mistura de ativos já formulados num mesmo produto comercial devem ser perseguidas pela indústria química, pois as sinergias de diversas misturas de ativos herbicidas é conhecida pela ciência e praticada em culturas agrícolas, porém, aspectos legais relacionados à mistura em tanque impossibilitam a sua aplicação no setor florestal.

Uma vertente que tem evoluído ainda de forma tímida no setor florestal é a tecnologia de aplicação. Os controladores eletrônicos de pulverização, estabilizadores de barras pulverizadoras e mapeamento de aplicações via satélite são práticas já usuais nas grandes lavouras agrícolas, que contam também com o uso de pulverizadores auto-propelidos, com grande capacidade carga e altos rendimentos operacionais, pois trabalham em velocidades ainda não imaginadas pelo setor florestal. A adoção destas tecnologias em modelos de aplicação de silvicultura de precisão, passa pela necessidade de maior rusticidade dos equipamentos de forma geral e da adoção de sistemas de proteção dos circuitos de pulverização, pois os cenários de aplicação em áreas de florestas plantadas são menos uniformes e com mais resíduos lenhosos.

## *Considerações finais*

- o controle de PD é essencial para se obter uma produtividade satisfatória do eucalipto.
- Glyphosate é uma ferramenta de controle de PD muito eficiente, no entanto, deve ser utilizado com a técnica adequada.
- A certificação florestal tornou os cuidados adotados pelas empresas certificadas mais perceptíveis aos seus clientes.
- O desenvolvimento de novas tecnologias de aplicação e de novos herbicidas são fundamentais para aumentar a eficiência do manejo de PD e também para a sustentabilidade do negócio florestal..

## *AGRADECIMENTOS*

Agradecimento a Fibria pela oportunidade de participar do evento.

*CARBONARI, C.A. et al.* ***Eficácia da utilização de grânulos de argila como veículo para a aplicação aérea de sulfentrazone e isoxaflutole em área de implantação de eucalipto. Planta Daninha,*** **v**. *28,* **n**. *1, p. 207-212,* **2010**.

*COSTA, A.G.F. et al.* ***Períodos de interferência de trapoeraba (Commelina benghalensis Hort.) no crescimento incial de Eucalipto (E. grandis W. Hill ex Maiden).*** *Revista Árvore, v. 28, n. 4, p.471-478, 2004.*

*FSC GUIDANCE DOCUMENT. FSC PESTICIDES POLICY: GUIDANCE ON IMPLEMENTATION. FSC-GUI-30-001 VERSION 2-0 EN. May 5, 2007.*

*SALGADO, T.P. et al.* ***Sintomas da intoxicação inicial de Eucalyptus proporcionados por subdoses de glyphosate aplicadas no caule ou nas folhas.*** *Planta Daninha, v. 29, p. 913-922, 2011.*

*SALGADO, T.P ;* ***Efeito do glyphosate no crescimento e produção e qualidade da madeira (Eucalyptus grandis x E. urophylla).*** *2010. 77 f.* ***Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal)*** *- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal. 2010.*

*SOUZA, L.S. et al* ***Efeito alelopático de plantas daninhas e concentrações de capim-braquiária (Brachiaria decumbens) no desenvolvimento inicial de Eucalipto (Eucalyptus grandis).*** *Planta Daninha, v. 21, n. 3, p.343-354, 2003.*

*TAKAHASHI, E.N. et al* ***Consequências da deriva de clomazone e sulfentrazone em clones de E. grandis x E. urophylla.*** *Revista Árvore, v. 33, n. 4, p.675-683,* **2009.**

*TAKAHASHI, E. N., ALVES, P. L. C. A., SILVA, A. C., FRANCISCATTE, W., PAZOTTI, A., OLIVEIRA, J. M., SILVA, C. J.* ***Effects of Brachiaria decumbens management in the growth of hybrid clones of Eucalyptus. In: XVII Congreso de la Asociación Latino Americana de Malezas.*** *Anais (cd). Varadero-Cuba. 2005.*

*TAKAHASHI, E.N.; SILVA. A.C.; JACOB, W.S.; HAKAMADA, R.E.* ***Efeito da decomposição da Brachiaria decumbens no desenvolvimento de clones de E. grandis x E. urophylla. In: XXIV Congresso Brasileiro de Ciência da Planta Daninha.*** **Anais**. *São Pedro-SP. p. 5, 2004.*

*TOLEDO, R., ALVES, P.L.C.A., VALLE, C.V., ALVARENGA, S.A.* ***Manejo de Brachiaria decumbens e seu reflexo no desenvolvimento de E. grandis.*** *Scientia Forestalis, n.54, p. 129-41, 1999.*

*TUFFI SANTOS, L.D., FERREIRA, F.A., BARROS, FERREIRA,L.R., SIQUEIRA C.H., MACHADO, A.F.L.* ***Simulação da deriva do gliphosate em eucalipto.*** *In: XXIV Congresso Brasileiro de Ciência da Planta Daninha. Anais. São Pedro-SP. p. 209, 2004.*

# *Controle Químico de Plantas Daninhas em Reflorestamento*

Eng. Agr. Dr. Tiago Pereira Salgado
Eng. Agr. Dr Marcos Antonio Kuva
**HERBAE – Consultoria e Projetos Agrícolas Ltda.**

Prof. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves
**Departamento de Biologia – UNESP/Jaboticabal**

A área existente de florestas plantadas apresentou pela primeira vez nos últimos 10 anos uma estagnação. Em 2011, a área ocupada por plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil totalizou 6,5 milhões de ha, sendo 74,8% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* e 25,2% aos plantios de *Pinus*. Importante ressaltar que apesar da redução de áreas plantadas nos principais estados produtores de florestas nas Regiões Sudeste e Sul do país, ocorreram aumentos significativos nos estados situados nas novas fronteiras do setor, como Maranhão, Tocantins, Piauí e Mato Grosso do Sul (Abraf, 2012). A área ocupada por plantios florestais de espécies não convencionais, como Acácia, Araucária, Pópulus, Seringueira, Paricá, dentre outras, foi de 421 mil ha, representando 6,0% da área total de plantios florestais no Brasil. Em função da importância do setor de papel e celulose, a ênfase nesse texto será dada a cultura do eucalipto.

Altamente eficiente no setor florestal, o Brasil figura como o quarto maior produtor de celulose e o décimo primeiro produtor de papel do mundo. Partiu-se de uma produtividade média de 24 $m^3$/ha/ano em 1980, chegando a 41 $m^3$/ha/ano em 2008 e com potencial de chegar a até 50 $m^3$/ha/ano, o que dependerá de fatores relacionados ao clima, solo, melhoramento genético, biotecnologia, matéria-prima e mão-de-obra de alta qualidade, além do manejo florestal (Abraf, 2009).

Para alcançar o teto produtivo do eucalipto, existe a necessidade de se realizar um manejo racional das plantas daninhas.

A presença de plantas daninhas em florestas provoca inúmeros distúrbios ecológicos (Alves, 1992) e normalmente são encontradas na cultura do eucalipto desde sua fase de pré-plantio até a colheita. Segundo Pitelli & Karam (1991), elas podem interferir nos fatores ligados ao seu crescimento, os chamados fatores bióticos ou abióticos (como a disponibilidade de água, nutrientes do solo, luminosidade e outros). Essa interferência pode ser direta: pela competição, alelopatia e parasitismo, e indireta, causando dificuldades na colheita e tratos culturais, atuando como hospedeiras intermediárias de pragas, doenças e nematóides ou ainda aumentando os riscos de incêndios florestais. A interferência das plantas daninhas com a cultura deve-se principalmente pela competição por recursos do meio que são essenciais ao crescimento.

Segundo Pitelli & Marchi (1991), a interferência imposta pelas plantas daninhas é mais severa na fase inicial de crescimento do eucalipto, ou seja, do plantio até cerca de um ano de idade. Dessa forma os esforços para o controle das plantas daninhas normalmente devem ser realizados nessas fases de maior interferência ou até o fechamento da cultura.

Contudo, estudos mais recentes indicam que as plantas de eucalipto que sofreram com a competição inicial de plantas daninhas até apresentam certa capacidade de recuperação, o que resulta na diminuição dos períodos críticos de interferência quando a avaliação do desempenho é realizada após maiores períodos (Tarouco et al., 2009; Garau et al., 2009). Toledo et al., (2003) verificaram que para a variável volume de madeira produzido por hectare, o PTPI foi de 142 dias aos 36 meses, 91 dias aos 48 meses, e 79 dias aos 78 meses após o

plantio, o que também demonstra a capacidade de recuperação das plantas de eucalipto. Isso ocorre provavelmente pelo fato da cultura apresentar um ciclo relativamente longo, elevada resposta a adubação e capacidade de absorção de nutrientes em camadas mais profundas, quando em condições edafoclimáticas adequadas.

Apesar de aumentar a diversidade biológica, estudos comprovam perdas de até 50% na produtividade do povoamento em razão da interferência das plantas daninhas, podendo reduzir a lucratividade em mais de 90% (Hakamada et al., 2010). Para evitar essas perdas, cerca de 30% do custo total e aproximadamente 50% da mão-de-obra usada ao longo de todo ciclo da cultura são destinados ao controle da matocompetição.

Dessa maneira, medidas intensivas de controle das plantas daninhas devem ser realizadas. Os principais métodos de controle de plantas daninhas em eucalipto são: preventivo, cultural, mecânico e químico.

O controle químico consiste no uso de produtos químicos (herbicidas) que em concentrações adequadas tem a finalidade de inibir o desenvolvimento ou provocar a morte de plantas daninhas. É o método mais recomendado e o mais usado no setor florestal, pois necessita de menor dependência de mão-de-obra, pode ser usado de forma eficiente em época chuvosa, pode ser seletivo a cultura e controlar plantas de propagação vegetativa.

Comparativamente a outras culturas de grande expressão econômica, existem poucos herbicidas registrados para o eucalipto. Os herbicidas registrados são: amônio-glufosinato, carfentrazone-ethyl, glyphosate, isoxaflutole, oxyfluorfen, pendimenthalin, sulfentrazone, trifluralin e imazapyr, sendo que o último é registrado para erradicação do eucalipto (Rodrigues & Almeida, 2011). Existem outros herbicidas que são usados ou que estão sendo testados em outros países: acetochlor, aminopiralide, 2,4D, chlorimuron-ethyl, clomazone, diclosulam, fluazifop-p-butyl, flumiozazin, fluroxypyr, fomesafen, haloxyfop-methyl, indaziflam, lactofen, metsufulfon-methyl, paraquat, saflufenacil e s-metolachlor. Possivelmente alguns desses produtos poderão ser usados no controle das plantas daninhas no Brasil.

Algumas considerações sobre as melhores oportunidades de controle químico das plantas daninhas, durante o ciclo da floresta estão a seguir.

Na escolha dos herbicidas aplicados tanto em pré quanto pós-emergência, obrigatoriamente, deve-se verificar o registro do herbicida para a cultura no Brasil, e também consultar as listas de restrições dos produtos fitossanitários em certificadoras, como no caso do Forest Stewardship Council (FSC).

## *Fase de implantação – Dessecação pré-plantio*

Independente da época, o plantio da cultura deve ser realizado no limpo. A identificação correta, o estágio de desenvolvimento das plantas daninhas, as condições climáticas no momento da aplicação, o uso de equipamentos e tecnologia de aplicação adequada, a qualidade da água são fundamentais para o sucesso na dessecação da área. Os principais herbicidas usados nessa fase são amônio-glufosinato, glyphosate e carfentrazone ethyl.

O glyphosate é indiscutivelmente o herbicida mais usado na cultura do eucalipto. Em levantamento realizado em 2010 com as principais empresas do setor florestal, Hakamada et al. (2010) detectaram que 100% das empresas utilizavam esse produto.

Nessa fase, os herbicidas não seletivos e de amplo espectro de controle podem ser usados com maior segurança. Por isso, antes do plantio da cultura deve-se aproveitar a oportunidade e fazer a desinfestação da área. Dependendo do nível de infestação a dessecação pré-plantio pode ser feita em uma ou duas etapas. Recomenda-se fazê-la em duas etapas caso haja:

I) vegetação muito desenvolvida ("efeito guarda-chuva");
II) alta infestação com plantas tolerantes ao glyphosate - como a *Spermacoce latifolia* (erva-quente), *Commelina benghalensis* (trapoeraba), *Tridax procumbens* (erva-de-touro), *Synedrellopsis grisebachii* (agriãozinho), *Ipomoea* spp (cordas-de-viola) e *Digitaria insularis* (capim-amargoso), entre outras;
III) presença de plantas comprovadamente resistentes ao glyphosate *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* (buva), *D. insularis* (capim-amargoso) e *Lolium multiflorum* (azevém) no Brasil. Nesses casos, o uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação é necessário para o manejo da resistência;
IV) plantas perenes de difícil controle dos biomas cerrado, caatinga, amazônico, mata atlântica ou regiões de transição e;
V) demora entre a primeira dessecação e o plantio da área por questões logísticas meteorológicas.

Cabe lembrar que no planejamento de instalação da floresta, deve-se usar todos os recursos necessários para propiciar um rápido crescimento da cultura em detrimento ao desenvolvimento das plantas daninhas. A correção da acidez do solo, adubação adequada, a utilização de sistemas conservacionistas do solo, como o cultivo mínimo, por exemplo, a escolha de materiais genéticos que sejam adaptados a região, que tenham crescimento rápido e uniforme, deslocam o balanço da competição entre as plantas daninhas e a cultura, sempre a favor da cultura, facilitando o controle das plantas daninhas.

## *Aplicação pré-emergente – Herbicidas residuais*

O conhecimento do histórico da área é ponto chave para a tomada de decisão quanto à aplicação ou não de herbicidas pré-emergentes. As áreas de expansão da cultura onde anteriormente eram pastagens, ou em áreas cujo potencial de infestação do banco de sementes é alto exigem mais cuidados. Nestes casos, a aplicação de herbicidas pré-emergentes é recomendada. Os herbicidas pré-emergentes registrados para o eucalipto são: isoxaflutole, oxyfluorfen, pendimenthalin, sulfentrazone e trifluralin, em uma ordem decrescente de uso.

A aplicação desses produtos pode ser feita antes ou após o plantio do eucalipto, e em pré (na maioria dos casos) ou pós-emergência inicial das plantas daninhas.

Toledo et al, (2003) demonstraram que a faixa de controle na linha do eucalipto deve ser superior a 50 cm de cada lado para se evitar a interferência negativa das plantas daninhas. Tanto nas aplicações em faixas, na linha de plantio, quanto em área total, o herbicida deverá ser seletivo e proporcionar um efeito residual adequado.

Preferencialmente fazer a aplicação logo após qualquer revolvimento do solo (gradagem, cultivo mínimo), pois o revolvimento do solo propicia a quebra de dormência e, conseqüentemente, a emergência de uma série de plantas daninhas.

A observação da classificação do tipo de solo, dos teores de argila, pH, matéria orgânica e o regime de chuvas é indispensável para se definir a dose necessária de cada herbicida. Caso se façam necessárias, as aplicações dos herbicidas pré-emergentes poderão ser repetidas quantas vezes for preciso, com a ressalva de que quando as plantas de eucalipto estiverem mais desenvolvidas os herbicidas devem ser aplicados em jato dirigido para melhor distribuição na superfície do solo e seletividade.

De maneira geral, o isoxaflutole tem se mostrado mais seletivo do que o oxyfluorfen e o sulfentrazone. Como a seletividade dos herbicidas é variável em função de doses, espécies, clones e condições edafoclimáticas, esses estudos devem ser realizados em cada situação de cultivo.

Como o isoxaflutole é um inibidor da biossíntese de caroteno, o sulfentrazone e o oxyfluorfen são inibidores de protox e o glyphossate é inibidor da EPSPS, os mesmos podem ser usados como rotação de mecanismos de ação de produtos em um eventual manejo de resistência de plantas daninhas.

## *Aplicação Pós-emergente*

Nas aplicações em pós-emergência novamente deverá ser feita a correta identificação das plantas daninhas. As opções de herbicidas nessa fase são o amônio-glufosinato, carfentrazone-ethyl e glyphosate. Alguns herbicidas possuem limitação quanto ao estádio de desenvolvimento das plantas daninhas no momento da aplicação, enquanto outros não possuem esta limitação. Os herbicidas pós-emergentes podem ou não ser seletivos a cultura do eucalipto e são usados em aplicação costal manual (coroamento e/ou catação) ou tratorizada. Apesar de ainda não estarem registrados para eucalipto no Brasil, os gramicidas são seletivos e geralmente são aplicados em pós-emergência inicial das gramíneas. Em levantamento realizado por Hakamada et al. (2010), o registro deste tipo de produto, que é seletivo, que pudesse ser aplicado sobre as plantas de eucalipto ("over top") e que controlasse principalmente as gramíneas, foi identificado como uma das principais necessidades do setor florestal.

Quando se utilizar um herbicida não seletivo, como por exemplo, o glyphosate, recomenda-se fazer as aplicações com ventos inferiores a 10 km/h, umidade relativa do ar acima de 50%, temperatura entre 20 e 30° C e usar pontas de pulverização que produzam gotas grossas. Salgado et al. (2011) comprovaram o efeito negativo da deriva de glyphosate no desenvolvimento inicial de eucalipto quando o mesmo atinge tanto

o caule quanto as folhas das plantas. Em condições de campo, Salgado et al,.(2010), concluíram que dos 3 aos 7 meses após o plantio, apenas plantas que receberam doses acima de 144 g e.a.ha$^{-1}$ glyphosate tiveram redução de produtividade aos 68 meses. Aos 9 meses após o plantio, não houve efeito das aplicações de glyphosate, em doses de até 432 g e.a.ha$^{-1}$ na produção do eucalipto.

Além dos problemas de deriva acidental das aplicações em pós-emergência, se o controle das plantas daninhas for feito após o Período Anterior a Interferência (PAI) - que na prática é o período em que a cultura pode conviver com as plantas daninhas sem que haja perdas significativas de produtividade – o prejuízo é certo. Após o PAI, verifica-se deficiências nutricionais, estiolamento, perda de folhas do "baixeiro", redução de área foliar e matéria seca de caule e folhas do eucalipto, o que na maioria dos casos é irreversível.

Geralmente são feitas de uma a quatro aplicações de herbicidas pós-emergentes no primeiro ano após o plantio. O número de aplicações vai depender do potencial de reinfestação da área. Dessa maneira, o monitoramento da infestação deve ser constante para a tomada correta de decisão. Após o primeiro ano ou fechamento da cultura, se ainda houver infestação de plantas daninhas, recomenda-se fazer o controle destas sempre antes das adubações para o melhor aproveitamento do adubo e prevenção da chuva de sementes ou até em alguns casos evitar a formação de um sub-bosque sob o dossel do eucalipto.

Independentemente da escolha dos produtos, todas as recomendações de bula devem ser seguidas na aplicação dos herbicidas. Como o eucalipto é plantado nas cinco regiões do país, as estratégias de controle das plantas daninhas serão diferentes, adequadas às particularidades regionais.

Resumidamente, para se fazer a escolha correta dos herbicidas as informações abaixo devem ser observadas:

- Identificar as espécies alvo ou obter o histórico da área;
- Conhecer a biologia/dinâmica das espécies mais problemáticas (tipo de reprodução, presença de biótipos tolerantes/resistentes a herbicidas, etc.);
- Prever as mudanças de flora da comunidade infestante;
- Escolher a tecnologia disponível que melhor se enquadra na situação desejada;
- Usar métodos seguros para a cultura e ao meio ambiente;
- Avaliar os custos e os impactos das operações de controle

## Bibliografia


ABRAF. Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico:** ano base 2008. Brasília, 2009. 120 p.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico:** ano base 2011. Brasília, 2012. 150 p.

ALVES, P. L. C. A. **Estudo das propriedades alelopáticas de espécies de Eucalyptus spp e sua potencialidade no manejo de plantas daninhas:** relatório. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

GARAU, A. M.; GHERSA, C. M.; LEMCOFF, J. H.; BARAÑAO, J. J. Weeds in Eucalyptus globulus subsp. maidenii (F. Muell) establishment: effects of competition on sapling growth and survivorship. **New Forests.** v. 37, p. 251–264, 2009.

HAKAMADA, R. E.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; GONÇALVES, J. L. M.; PULITTO, A. P. **Levantamento sobre manejo de plantas daninhas. In: XL Reunião técnico-científica do PTSM, 2010.** Campo Grande. **Anais...**Campo Grande, 2010.

PITELLI, R. A.; KARAM, D. **Ecologia de plantas daninhas e sua interferência em culturas florestais. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTOS**, 1., 1991, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 44-64.

PITELLI, R. A.; MARCHI, S. R. **Interferência das plantas invasoras nas áreas de reflorestamento. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTO**, 1., 1991, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 110-23.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas.** 6. ed. Londrina: IAPAR, 2011. 697 p.

SALGADO, T. P. **Efeito do glyphosate no crescimento, produção e qualidade da madeira do eucalipto (Eucalyptus grandis x E. urophylla).** Tese apresentada na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus de Jaboticabal/SP para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal. Jaboticabal, 73 f., 2010.

SALGADO, T. P.; ALVES, P. L. C. A.; KUVA, M. A.; TAKAHASHI, E. N.; DIAS, T. C. S.; LEMES, L. N. **Sintomas da intoxicação inicial de eucalyptus proporcionados por subdoses de glyphosate aplicadas no caule ou nas folhas. Planta Daninha**, v. 29, n. 4, p. 913-922, 2011.

TAROUCO, C. P.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E. SANTOS, L. S.; VIGNOLO, G. K.; RAMOS, L. O. O. **Períodos de interferência de plantas daninhas na fase inicial de crescimento do eucalipto. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1131-1137, 2009.

TOLEDO, R. E. B.; VICTÓRIA FILHO, R.; ALVES, P. L. C. A.; PITELLI, R. A.; LOPES, M. A. F. **Faixas de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento de plantas de eucalipto.** Scientia Florestalis, v. 64, p. 78-92, 2003.

# *Manejo Integrado de Plantas Daninhas em Soja*

Fernando Storniolo Adegas
**EMBRAPA Soja - Londrina/PR**

Pode-se considerar que a ciência das plantas daninhas surgiu efetivamente no final do século IX, através dos estudos iniciais de fisiologia, ecologia, matocompetição e táticas de controle (Klingman, 1961). No entanto, foi a partir do século seguinte que esta ciência ganhou grande impulso, especialmente após a descoberta dos primeiros herbicidas seletivos, na década de 40, que proporcionou a construção da idéia inicial de controle com diferentes práticas agrícolas, passando pelo manejo de infestantes e culminando no moderno conceito de manejo integrado de plantas daninhas (Anderson, 1977).

Existem diferentes definições para o manejo integrado de plantas daninhas (MIPD), mas sumariza-se como sendo a seleção e a integração de métodos de controle e o conjunto de critérios para a sua utilização, com resultados favoráveis dos pontos de vista agronômico, econômico, ecológico e social (Adegas, 1997). Os princípios básicos do MIPD **são a supressão do crescimento de plantas daninhas, a prevenção da produção de sementes, a redução do banco de sementes no solo e** o controle da disseminação destas infestantes. As principais estratégias a serem utilizadas para a execução do MIPD devem partir da identificação e conhecimento da biologia e ecologia das infestantes, do monitoramento da área infestada, do conhecimento das relações de interferência entre a população infestante e a cultura, do plano de manejo utilizando a combinação de diferentes métodos de controle e da avaliação da efetividade do resultado obtido (Swanton e Murphy, 1996).

O conceito geral e as ações de gerenciamento do MIPD valem para qualquer realidade da exploração agropecuária, mas devem ser implementados de acordo com os fatores específicos de cada área de produção, especialmente das condições edafoclimáticas, da flora infestante e da cultura em exploração. **É interessante salientar que** estes fatores são dinâmicos e passíveis de modificações, e que a soja, no Brasil, foi uma das culturas que mais sofreu transformação no sistema de produção, fato que deve ser entendido para adequar o manejo de plantas daninhas para esta cultura.

O primeiro aspecto importante em relação a cultura da soja é área em que é cultivada. A soja foi introduzida no Brasil em 1914, no Rio Grande do Sul, sendo que o seu cultivo no país ficou restrito a esse Estado até o final da década de 1960. A partir dos anos seguintes, a soja teve uma das mais impressionantes expansões da agricultura moderna, sendo cultivada em todas as regiões agrícolas brasileiras e, portanto, nas mais diferentes condições edafoclimáticas do país. Na safra 2011/12 a área brasileira de soja foi de 25.000,5 milhões de ha, com produção de 66.370 milhões de toneladas, que torna essa oleaginosa a principal cultura agrícola do Brasil (CONAB, 2012).

A expansão da soja em solos brasileiros teve diversas razões, dentre elas pode ser destacada a criação de novas cultivares, que proporcionou o cultivo em baixas latitudes, especialmente na região do Cerrado (Ojima, 2004). No entanto, um dos principais entraves para a expansão da área de soja era o controle das plantas daninhas.

No final dos anos 90 **e início deste século**, os principais problemas em relação ao MIPD na cultura da soja eram os seguintes: aumento expressivo de áreas com casos de resistência aos inibidores da ALS, principalmente de *Euphorbia heterophylla* (leiteiro, amendoim-bravo) no Sul e Sudeste do país e de *Bidens* sp (picão-preto) na região do Cerrado; casos localizados de gramíneas resistentes aos inibidores da ACCase,

como *Digitaria horizontalis* (capim-colchão, milhã) e *Brachiaria plantaginea* (capim-marmelada, papuã); muitas propriedades apresentavam alta infestação da flora daninha e a presença de espécies de difícil controle; alto custo de controle, ao redor de US$ 50,00/ha; e a dificuldade de realização de controle, sendo considerada a prática cultural de maior dificuldade técnica entre os fatores de produção.

Junto com as questões relacionadas as plantas daninhas também ocorreram outras mudanças importantes no sistema de produção da soja, com destaque para a consolidação do plantio direto na maioria das áreas de cultivo; a expansão e também consolidação do milho safrinha; o aumento da área de algodão na 2ª safra, especificamente na região do cerrado; e o surgimento da ferrugem-asiática.

Em virtude disso, os agricultores começaram a buscar cultivares com características que se adaptassem a esse novo cenário de produção de soja, principalmente com maior precocidade, que tivessem potencial para serem semeadas em época antecipada e que possuíssem melhor arquitetura de planta, especificamente com menor área foliar, para facilitar a aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática. Por isto, o melhoramento genético atual tem priorizado a obtenção de cultivares de hábito de crescimento indeterminado e de ciclo de desenvolvimento mais precoce, que, no entanto, interfere negativamente no potencial competitivo da cultura com a população infestante.

Especificamente em relação a soja, outro importante fator relacionado ao manejo da cultura no Brasil foi a introdução das cultivares Roundup Ready, vulgarmente denominadas de soja RR, cuja principal diferencial é a resistência ao herbicida glyphosate. No caso desta soja geneticamente modificada, a tolerância ao herbicida foi obtida pela inserção de um gene oriundo do genoma da *Agrobacterium tumefaciens*, cepa CP4, a qual codifica uma variante da enzima EPSPs (CP4 EPSPS) tolerante à inibição pelo glyphosate (Padgette et al., 1995). A possibilidade de aplicação do glyphosate na pós-emergência da soja era um outro fator desejado pelos produtores, para solucionar a dificuldade de controlar as plantas daninhas existente na época.

Estas características eram relativamente comuns entre as cultivares produzidas na Argentina, semelhantes as do meio-oeste dos Estados Unidos. Em função dessas duas realidades, da dificuldade do manejo de plantas daninhas e da necessidade de mudança no perfil das cultivares, alguns produtores do Rio Grande do Sul importaram clandestinamente sementes de soja RR da Argentina, a partir da safra 1996/97. Devido à similaridade das condições climáticas entre essas regiões, algumas dessas cultivares tiveram boa adaptação e aliado ao fato de serem resistentes ao glyphosate, rapidamente se disseminaram entre a região produtora de soja daquele Estado.

A expansão da soja RR para as demais regiões do país seguiu um ritmo mais lento, principalmente em razão da pouca oferta inicial de cultivares adaptadas **às** regiões de menor latitude. Contudo, com o passar do tempo e com o lançamento de cultivares adaptadas, também houve um aumento na adoção da tecnologia, sendo que na safra 2011/12 a área cultivada com soja RR já atingiu ao redor de 90% da área total do país.

As principais razões para a rápida adoção dessa tecnologia pelos produtores foram a facilidade no manejo e uso do glyphosate; o amplo espectro de controle (áreas com alta infestação e com espécies de difícil controle); e a possibilidade de manejo em áreas com problemas de resistência aos inibidores da ALS.

No entanto, como em toda tecnologia, a adoção da soja resistente ao glyphosate também tem gerado algumas conseqüências indesejáveis. Devido à flexibilidade oferecida pela aplicação do glyphosate na pós-emergência da soja, muitos agricultores estão negligenciando uma eficiente dessecação em pré-plantio, ou mesmo não a realizando, deixando para fazer o controle somente na pós-emergência da cultura, o que poderá ocasionar perdas por matocompetição inicial.

Outra preocupação é a dificuldade do controle da soja RR voluntária, que germina após a colheita da lavoura comercial. Isso ocorre porque os produtores que semeiam alguma cultura em sucessão à soja, normalmente realizam a operação de dessecação pré-plantio com o herbicida glyphosate, que no caso é ineficiente para o controle da soja RR infestante. Por isso, é importante o uso de alternativas para o controle dessa soja RR, que se instala como voluntária após a colheita, que além de competir com a cultura subseqüente, pode multiplicar doenças, como a ferrugem-asiática.

O incremento da área de soja com cultivares RR resultou no aumento do uso de glyphosate, tanto em número de aplicações quanto em dose. Em relação à flora daninha, o aumento de pressão do uso deste herbicida tem proporcionado o aumento da infestação de espécies com maior tolerância ao glyphosate, com

diferenças específicas para as diversas regiões do país, mas com destaque para: *Ipomoea* sp. (corda-de-viola, corriola), *Commelina benghalensis* (trapoeraba), *Richardia brasiliensis* (poaia-branca), *Spermacoce latifolia* (erva-quente), *Chamaesyce hirta* (erva-de-Santa Luzia), *Tridax procumbes* (erva-de-touro), *Centratherum punctatum* (perpétua-roxa), *Murdania nudiflora* (trapoerabinha), dentre outras.

Outra consequência do uso continuado de glyphosate é o surgimento e a disseminação de espécies resistentes a esse herbicida. No Brasil existe o relato de cinco espécies resistentes (Heap, 2012): azevém (*Lolium multiflorum*), buva (*Conyza bonariensis, Conyza canadensis* e *Conyza sumatrensis*) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*).

A utilização do glyphosate na pós-emergência da soja foi uma das tecnologias que mais afetaram o manejo integrado de plantas daninhas, bem como todo o sistema de produção da cultura no Brasil. Com a incorporação definitiva desta tecnologia, algumas tendências futuras podem ser projetadas dentro do MIPD, como o aumento da infestação de plantas daninhas tolerantes ao glyphosate; o aumento dos casos de plantas daninhas resistentes a este herbicida, inclusive com possibilidade de aparecimento de resistência múltipla; a dificuldade cada vez maior de controle da soja RR voluntária; o incremento da associação de outros herbicidas no sistema de produção; e a exigência de seletividade total pelos produtores, quando da aplicação de outros herbicidas.

Cada vez mais a produção agrícola deverá ser baseada em tecnologias que se adequem a uma visão sustentável de produção. Em relação ao MIPD na cultura da soja isto não será diferente, com a necessidade de se racionalizar o uso dos herbicidas, especialmente o glyphosate. Além disso, será fundamental a rotação da soja resistente ao glyphosate com outras culturas, ou a sua inserção em sistemas que envolvam herbicidas com diferentes mecanismos de ação, o que é um dos conceitos básicos do Manejo Integrado de Plantas Daninhas.

## Bibliografia

*ADEGAS, F. S.* ***Manejo integrado de plantas daninhas. In: II Conferência Anual de Plantio Direto, 1997, Pato Branco, PR. Resumos...*** *Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, p. 17-26, 1997.*

*ANDERSON, W. P.* ***Weed Science: Principles.*** *West Publishing Company: USA, 1977. 598p.*

*CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento.* ***Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento, julho 2012.*** *Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília : Conab, 2012. Publicação mensal. (PDF, 29 p). Disponível em: < http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>. Acesso em 07 de julho de 2012.*

*HEAP, I.* ***The international survey of herbicide resistant weeds.*** *Disponível em: <http://www.weedscience. org>. Acesso em 12 de julho de 2012.*

*KLINGMAN, G. C.* ***Weed Control: As a Science.*** *Wiley: New York, 1961. 421p.*

*OJIMA, A. L. R. O.* ***Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática.*** *2004. 79 f. Dissertação (Mestrado Automação) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.*

*PADGETTE, S. R.; RE, D. B.; BARRY, G. F.; EICHHOLTZ, D. E.; DELANNAY, X.; FUCHS, R. L.; KISHORE, G. M.; FRALEY, R. T. New weed control opportunities: development of glyphosate-tolerant soybeans. In: DUKE, S. O. (Ed.).* ***Herbicide resistant crops.*** *Boca Raton: CRC, 1995. p. 54-80.*

*SWANTON, C.J.; MURPHY, S. D. Weed science beyond the weeds: The role of integrated weed management (IWM) in agroecosystem health.* ***Weed Sci., v.44, p. 437–445, 1996.***

# *Inovações na Prevenção e Manejo de Populações de Plantas Daninhas Resistentes a Herbicidas no Brasil*

Pedro J. Christoffoleti[1], Marcelo Nicolai[2], Marcel Sereguin Cabral de Melo[3], Flávio Botelhos Obara[4] e Caio Augusto de Castro Grossi Brunharo[5].

**[1] Professor Associado Departamento de Produção Vegetal - ESALQ/USP, pjchrist@usp.br; [2] Pós-doutorando - ESALQ-USP, mnicolai2009@gmail.com; [3] Doutorando - ESALQ/USP, melomsc@yahoo.com.br e [4] Mestrando ESALQ/USP, flavioobara@hotmail.com do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia; [5] Graduando em Engenharia Agronômica - ESALQ/USP, caio.brunharo@yahoo.com.br.**

## *1. Introdução*

A seleção de plantas daninhas resistentes a herbicidas em uma determinada cultura exige mudanças nas táticas de manejo e condução da cultura, resultando em aumento dos custos de manejo, reduzindo as opções de herbicidas viáveis e podendo afetar negativamente o potencial produtivo das culturas. Portanto, é fundamental que os produtores estejam envolvidos com o assunto, principalmente aqueles que trabalham com culturas transgênicas resistentes ao glyphosate, como soja, milho e algodão.

Poucos herbicidas com novos mecanismos de ação estão sendo desenvolvidos pelas empresas de agroquímicos, de forma que a agricultura atual dependerá cada vez mais dos herbicidas atuais. Como a situação de resitência de plantas daninhas ao glyphosate ainda não está disseminada em todo o Brasil, é momento de reflexão sobre o assunto e de atuar de forma preventiva, utilizando gerenciamento pró-ativo de recomendações de herbicidas com o objetivo de evitar ou retardar a seleção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate. Assim, o objetivo deste artigo é explorar alguns aspectos relevantes para o manejo de prevenção da resistência de plantas daninhas aos herbicidas, com especial enfoque ao glyphosate.

Dada a importância do controle das plantas daninhas, para que sejam garantidos elevados níveis de produtividade, a falha deste pode comprometer drasticamente a produção dos cultivos agrícolas, além de proporcionar aumento nos custos de produção. Inoue & Oliveira Jr. (2011) comentam que o inadequado planejamento das atividades agrícolas, em situações onde a resistência de plantas daninhas é constatada, traz como conseqüência o aumento de riscos quanto à possibilidade de insucesso no processo produtivo. A adoção de ferramentas adequadas para a tomada de decisões é o primeiro passo para se obter melhores resultados, evitando a seleção dos biótipos resistentes (Duke & Powles, 2008).

Dessa forma, a resistência de plantas daninhas aos herbicidas assume grande importância, principalmente em razão do limitado, ou inexistente, número de herbicidas alternativos para serem usados no controle dos biótipos resistentes. O número de ingredientes ativos disponíveis para controle de algumas espécies daninhas é bastante restrito, e o desenvolvimento de novas moléculas é difícil e oneroso (Christoffoleti et al., 2009; Powles, 2008; Duke & Powles, 2008). Portanto, diagnosticar a resistência em uma população de plantas daninhas de forma rápida, eficaz e precisa ajuda a prevenir a disseminação de sementes resistentes na área, evitando problemas futuros (Powles & YU, 2010; Christoffoleti et al., 2008).

O manejo racional de herbicidas é uma prática bastante importante, e o uso de herbicidas sem nenhuma, ou com pouca atividade residual no solo e a otimização de doses e número de aplicações reduzem a pressão de seleção, diminuindo os riscos de seleção de resistência de plantas aos herbicidas (Nicolai et al., 2012; Powles & Yu, 2010). Da mesma forma, a rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação diminui consideravelmente a pressão de seleção para biótipos resistentes (Nicolai et al., 2011; Christoffoleti et al., 2008).

É necessária a modificação de algumas práticas agrícolas de modo a prevenir ou retardar o estabelecimento da resistência em alguns biótipos de plantas daninhas (Christoffoleti et al., 2009; Hurley et al., 2009). A rotação de culturas reduz o efeito das plantas daninhas fisiologicamente próximas da cultura e permite o uso de herbicidas alternativos, com diferentes mecanismos de ação, o que pode representar uma estratégia eficaz no manejo da resistência (Nicolai et al., 2011; Christoffoleti et al., 2008). Técnicas que reduzem o banco de sementes de plantas daninhas podem ser incorporadas na prática de rotação de culturas, como pastagem ou produção forrageira, períodos de pousio utilizando herbicidas não seletivos ou cultivadores, utilização de adubos verdes e queima de resíduos de plantas daninhas após a colheita (Inoue & Oliveira Jr., 2011; Culpepper, 2009; Powles & Holtum, 1994).

## *2. Princípios e estratégias de manejo da resistência de plantas daninhas a herbicidas*

As melhores estratégias para manejo da resistência estão fundamentadas no conceito de diversidade, ou seja uma combinação de táticas reduz a pressão de seleção imposta por um única prática. A aplicação de herbicidas de diferentes mecanismos de ação e com o mesmo espectro de controle (sobreposição de espectro de ação na planta daninha alvo) é com certeza uma estratégia que deve ser utilizada na agricultura.

O manejo pró-ativo (preventivo) consiste na implementação das táticas antes do aparecimento da resistência. No entanto, se as táticas de manejo da resistência forem implementadas depois do aparecimento da resistência este é o manejo reativo. Assim, o produtor deve estar ciente que o manejo pró-ativo é crítico para a sustentabilidade do manejo de plantas daninhas a longo prazo na agricultura. Manejo pró-ativo significa preservar o potencial produtivo da cultura, reduzindo os custos futuros do manejo antes que a resistência seja selecionada, e finalmente protegendo as opções de herbicidas disponíveis.

Diversidade de manejo pode ser obtida usando herbididas em associação, sequência ou rotação com ou sem a utilização de outros métodos de controle, em especial métodos culturais. O manejo próativo pode ser de menor custo e proporcionar maior proteção à produtividade e lucratividade versus esperar para implementar estratégias reativas depois da detecção das populações resistentes (tabela 1).

**Tabela 1 -** Medidas que devem fazer parte de um manejo pró-ativo (preventivo) de seleção de plantas daninhas resistentes.

| |
|---|
| Uso de herbicidas residuais. |
| Rotação de diferentes mecanismos de ação. |
| Controle de plantas daninhas em áreas vizinhas que servem de fonte de sementes. |
| Rotação de cultivos alterando o mecanismo de ação do herbicida nas culturas. |
| Controle de plantas daninhas de infestações tardias, evitando a produção de sementes. |

## 3. Medidas preventivas de manejo da resistência

O manejo pró-ativo deve iniciar-se durante as operações de pré semeadura da cultura, utilizando a estratégia de implantar a cultura "no limpo", ou seja as práticas de dessecação devem ser efetivas no manejo de plantas daninhas, de tal forma que a cultura seja estabelecida em áreas absolutamente isentas de plantas daninhas emergidas (Dewar, 2009; Sammons et al., 2007). Na semeadura da cultura é recomendado o uso de herbicidas residuais com diferentes mecanismos de ação, seguido de opções de pós-emergência também com diferentes mecanismos de ação, seguido da eleminação de possíveis "escapes" através de aplicações em jato dirigido ou barra protegida (Nicolai, 2012; Dewar, 2009). A filosofia básica no manejo é não permitir que uma eventual planta daninha resistente estabeleça um banco de sementes no solo na área.

**Pré-plantio** - Além do herbicida de manejo (normalmente o glyphosate) é recomedável que um herbicida residual seja associado. Dessecação antecipada, seguida pela dessecação do novo fluxo de emergência com a associação de herbicida de contato com um residual é também uma prática recomendada. Associação de pós emergentes de ação sobre folhas largas são também utilizados para o controle de buva e outras plantas daninhas folhas largas de dificil controle pelo glyphosate.

**Pré-emergência** - Diversas opções de herbicidas e mecanismos de ação estão disponívieis no mercado. A escolha irá depender das condições edáficas, climáticas e culturais, além do custo, sendo que deve-se ressaltar que a seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência é devida, dentre outros, a três fatores: metabolismo da molécula pela cultivar, dose e posicionamento no solo.

**Pós-emergência** - Existem vários herbicidas recomendados para aplicação em pós-emergência nas culturas, no entanto, enquanto alguns podem ser aplicados em área total (POS), outros têm recomendação para aplicação em jato dirigido (POSd), dependendo de sua seletividade. O importante nesta estratégia é que o herbicida deve ser associado com mecanismos de ação diferenciados.

O uso de misturas de herbicidas para manejo e prevenção da resistência está baseado no fato de que os ingredientes ativos controlam eficientemente os dois biótipos da mesma espécie, ou seja, o biótipo resistente a um dos herbicidas é controlado pelo outro ingrediente ativo da mistura (Gustafson, 2008; Powles & Holtum, 1994). Melo (2011) mostra a eficiência da associação de herbicidas inibidores da ACCase para o controle de *Digitaria insularis* resistente ao glyphosate. É importante ressaltar que a mistura de herbicidas de diferentes mecanismos de ação como forma de manejo e prevenção de resistência é mais eficiente quando o sistema de reprodução da planta daninha é a autogamia, uma vez que a recombinação gênica de diferentes alelos que conferem resistência tem menor probabilidade de ocorrer em relação a plantas alógamas (Gaines et al., 2010; Gould, 1995). Ainda, é viável o uso de associações entre herbicidas, seja no tanque de pulverização ou no tempo considerando-se o sistema de produção, onde são explorados diversos mecanismos de ação. Constantin et al. (2012), Nicolai et al. (2010) e Moreira et al. (2010) apontam o uso de diversos mecanismos de ação para o manejo de buva dentro do sistema de produção de soja e citrus, com destaque para o glyphosate e os inibidores da ALS, mas também para herbicidas inibidores da PROTOX, da GS e da divisão celular por exemplo.

Atenção especial deve ser observada quando do uso de misturas entre herbicidas que visam o controle de biótipos resistentes a um deles, como é o caso das associações ao herbicida glyphosate. Ocorre que o aumento de dose e o uso de um mesmo mecanismo de ação pressionam a planta daninha até que a mesma se mostre resistente a ambos os mecanismos (resistência múltipla). Tal fato é tão atual que Santos et al. (2012) acabam de relatar a resistência múltipla de buva (*Conyza sumatrensis*) a glyphosate e inibidores da ALS (chlorimuron). Ainda, Vargas et al. (2006) mostraram a grande efetividade do herbicida clethodim sobre a planta daninha azevém (*Lolium multiflorum*). Contudo, em 2010, estes mesmos pesquisadores relataram o caos de resitência múltipla de *Lolium multiflorum* a glyphosate e a inibidores de ACCase (clethodim) (Heap, 2012).

Outras alternativas para prevenção e manejo da resistência podem ser: cultivo de culturas mais competitivas, espaçamento mais adensado, controle biológico e uso de cobertura morta (Inoue & Oliveira Jr., 2011; Silva et al., 2007) . É interessante manter um histórico de cada área da propriedade para se identificar a evolução da população de determinadas espécies, pois, normalmente, a ocorrência dos biótipos resistentes

não pode ser detectada durante os primeiros anos de aplicação do agente selecionador, isto é, quando é percebida a falta de controle de uma espécie que tradicionalmente era controlada por certo herbicida, já passou diversos anos do início da seleção do biótipo resistente (Culpepper, 2009). Assim, as principais formas de manejo e prevenção da resistência estão todas relacionadas ao manejo integrado de plantas daninhas.

Por fim, a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas no Brasil e no mundo é um fenômeno já constatado e relatado para praticamente todos os herbicidas em uso na agricultura (Heap, 2012). No entanto, a freqüência de aparecimento dos casos de resistência é variável em função do herbicida, da planta daninha e do sistema de produção. O herbicida glyphosate, por exemplo, apesar de seu uso intensivo na agricultura, tem poucos registros de casos quando comparado com outras classes de herbicidas (Christoffoleti et al., 2009; Powles, 2008). Sendo assim, o conhecimento das características das plantas daninhas, dos herbicidas e do sistema de produção, que favorecem o aparecimento de biótipos de plantas daninhas resistentes, é de fundamental importância para que técnicas de manejo sejam utilizadas para evitar ou retardar o aparecimento de biótipos resistentes em uma área e caso já esteja presente na área evitar sua disseminação e reduzir sua presença. Ressaltamos que embora a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes seja um fato que exige cuidados e mudanças nas práticas agrícolas não é um fenômeno que inviabilize o uso de herbicidas; é, pois um fenômeno que exige do produtor racionalização de medidas de manejo de plantas daninhas.

## *4. Considerações finais*

Para prevenção da seleção da resitência o agricultor deve adotar as boas práticas de manejo. Dentre estas práticas destacam-se levantamento da infestação antes do plantio, levantamento da infestação após o plantio, iniciar a cultura no limpo, controlar as plantas daninhas no início de seu desenvolvimento e da cultura, controle de plantas daninhas escapes, limpeza de equipamentos de colheita e tratos culturais, uso de sementes certificadas, uso de herbicidas com diferentes mecanismos de ação e uso da dose recomendada pelo fabricante. A porcentagem de produtores que utilizam todas estas boas práticas agrícolas é com certeza pequena, sendo que algumas delas são mais utilizadas que outras. Assim, como mensagem final ressaltamos que prevenir a resistência é com certeza mais fácil que remedear.

## Bibliografia


CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR., R. S.; NETO, A. M. O.; BLAINSKI, E. **Buva: Fundamentos e Recomendações para Manejo**. Curitiba, PR: Omnipax, 104 p, 2012.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; MOREIRA, M. S.; CARVALHO, S. J. P.; LOPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; CARDINALI, V. C. B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ESPSs. In: **Glyphosate** / Ed: VELINI, E. D.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE M. L. B. Botucatu: FEPAF, 2009. Páginas 309 a 356.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LOPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; VARGAS, L.; CARVALHO, S. J. P.; MOREIRA, M. S.; CARVALHO, J. C.; CATANEO, A. C. **Aspectos da resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas.** 3ed. Campinas: Associação Brasileira de Ação a Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas (HRAC-BR), 120 p, 2008.

CULPEPPER, A. S., A. C. YORK, AND M. W. MARSHALL. Glyphosate-resistant Palmer amaranth in the Southeast. Pages in T. M. Webster, ed. **Proceedings of the Southern Weed Science Society**. Orlando, FL: Southern Weed Science Society, 62:371. 2009.

DEWAR, A. M. Weed control in glyphosate-tolerant maize in Europe. **Pest Management Science**, v. 65, n. 10, p. 1047-1058, 2009.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Manag. Sci.,** v. 64, p.319-325, 2008.

GAINES, T.A.; ZHANG, W.; WANG, D.; BUKUN, B; CHISHOLM, S.T.; SHANER, D.L.; NISSEN, S.J.; PATZODT, W.L.; TRANEL, P.J.; CULPEPPER, A.S.; GREY, T.L.; WEBSTER, T.M.; VENCILL, W.K.; SAMMONS, R.D.; JIANG, J.; PRESTON, C.; LEACH, J.E.; WESTRA, P. Gene Amplification confers glyphosate resistance in Amaranthus palmeri **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.** v. 107, n. 3, p. 1029 - 1034. 2010.

GOULD, F. Comparisons between resistance management strategies for insects and weeds**. Weed Technol.**, v.9, n.4, p.830-839, 1995.

GUSTAFSON, D. I. Sustainable use of glyphosate in North American cropping systems. **Pest. Manag. Sci.,** v. 64, n. 4, p. 409-416, 2008.

HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds.** Disponível em: www.weedscience.com. Acessado em 20/06/2012.

HURLEY, T.M.; MITCHELL, P.D.; FRISVOLD, G.B. Effects of weed resistance concerns and resistance management practices on the value of Roundup Ready® crops. **AgBioForum**, vol 12(3&4), p. 291-302. 2009.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR., R. S.. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas.** Ed: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. Curitiba, PR: Omnipax, p. 193 - 214, 2011.

MELO, M. S. C. Alternativas de controle, acúmulo de chiquimato e curva de crescimento de capim-amargoso (Digitaria insularis) suscetível e resistente ao glyphosate. Piracicaba, 2011**. Dissertação** (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

MOREIRA, M. S.; MELO, M. S. C.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CRHISTOFFOLETI, P. J.. Herbicidas alternativos para controle de biótipos de Conyza bonariensis e C. canadensis resistentes ao glyphosate. **Planta daninha**, vol.28, n.1, pp. 167-175. 2010.

NICOLAI, M.; MELO, M. S. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; LOPEZ-OVEJERO, R. F.; FERREIRA, A. Chemical management systems for Digitaria insularis resistant to glyphosate in soybean in Brazil. In: Southern Weed Science Society Conference, 2012. **Abstract**, 65th Annual Meeting, Charleston, SC, USA, n. 81, 2012.

NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P.; MELO, M. S. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J.. Ocorrência e manejo de plantas daninhas resistentes a herbicidas na cultura de milho no Brasil. In: FANCELLI, A. L. (Ed). **Milho: Produção e Produtividade**. Piracicaba/SP: ESALQ/USP/LPV, 2011. p 59-90.

NICOLAI, M.; MELO, M. S. C.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; NEVES, R; FIORINI, M; CHRISTOFFOLETI, P. J. Sistemas de manejo para a planta daninha Buva (Conyza bonariensis) resistente ao herbicida glyphosate envolvendo a cultura da soja RR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27. Ribeirão Preto, SP. 2010. **Resumos.** Ribeirão Preto: SBCPD, n. 449. p. 2141 - 2145. 2010.

POWLES, S. B. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. **Pest Manag. Sci.** V. 64, p.360-365, 2008.

POWLES, S. B; YU, Q. Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. **Annual Review of Plant Biology**, Vol. 61: 317-347. 2010.

POWLES, S.; HOLTUM, J. **Herbicide resistance in plants**: biology and biochemistry. New York: CRC Press, 1994. 353p.

SAMMONS, R. D.; HEERING, D. C.; DINICOLA, N.; GLICK, H.; ELMORE, G. A. Sustainability and Stewardship of Glyphosate and Glyphosate-resistant Crops. **Weed Technology**, v. 21, n. 2, p. 347-354. 2007.

SANTOS, G.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; MACHADO, F. P. S. M. Buva com resistência múltipla a herbicidas é identificada como Conyza sumatrensis no Paraná. **Informe Técnico PGA - Universidade Estadual de Maringá**. Maringá, PR, v. 01, n. 01, p. 1 a 3. 2012.

SILVA, A. S.; VARGAS, L.; FERREIRA, E. A. **Herbicidas: Resistência de plantas**. In: Tópicos em manejo de plantas daninhas. Ed: SILVA, A. A.; SILVA, F. S.. Viçosa, MG: Ed. UFV, p 279 - 324. 2007.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; RIZZARDI, M. A.; TOLEDO, R. E. B. Manejo de azevém resistente ao glyphosate em pomares de maçã com herbicida Select (clethodim). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 5, n. 1, p. 30 - 36. 2006.

# O Uso dos Herbicidas como Ferramenta de Manejo de Plantas Daninhas em Pastagens

Prof. Dr. Ricardo Victoria Filho
Prof. Titular da Área de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas
**ESALQ/USP - Piracicaba**

## *Introdução*

No ambiente das pastagens cultivadas a gramínea forrageira devido a problemas de manejo ou adaptação as condições de clima e solo dificilmente utiliza todos os recursos disponíveis ao seu desenvolvimento. Consequentemente os espaços disponíveis no ambiente serão ocupados pelas plantas daninhas (DIAS FILHO, 1990).

Embora poucos trabalhos na literatura mostrem os efeitos da competição das plantas daninhas com as pastagens, é bem conhecido que as pastagens mais produtivas são aquelas que dentre outros fatores apresentam baixo nível de infestação das plantas daninhas (VICTORIA FILHO, 1986).

As plantas daninhas competem com a gramínea forrageira pelos fatores essenciais ao crescimento ou seja água, luz e nutrientes. VICTORIA FILHO et al. (2001) estudando interferência de plantas daninhas na implantação de *Brachiaria brizantha* verificaram que o período crítico de prevenção da interferência situa-se entre 15 a 60 dias após a emergência. Portanto o manejo adequado das plantas daninhas é importante não só na pastagem estabelecida como também na sua formação, quando a espécie forrageira terá condição de ocupação do espaço na superfície do solo evitando novos fluxos de emergência das plantas daninhas.

Considerando que cerca de 50% das áreas ocupadas por plantas forrageiras apresentam alguns estágio de degradação, tem-se a ideia do volume de negócios relacionadas a renovação de pastagens (VIEIRA e KICHEL, 1995).

O efeito competitivo exercido pelas plantas daninhas não apresentam um visual tão drástico como seria, por exemplo, com a ocorrência de uma doença grave dos animais. Portanto nas pastagens extensivas é muito comum observar-se infestações altas de plantas daninhas, ocupando o espaço que seria destinado a planta forrageira. Nesta situação o pecuarista está perdendo o potencial produtivo de suas terras, e essa redução na capacidade de suporte pode fatalmente conduzir a uma situação econômica precária da empresa.

## *2. PLANTAS DANINHAS EM PASTAGENS*

A implantação das pastagens e o sistema de manejo utilizado de uma forma inadequada com o uso de práticas similares leva a ocorrência de plantas daninhas no ecossistema da pastagem, que de um modo geral são constituídas por plantas dicotiledôneas arbustivas e arbóreas. Também algumas gramíneas não desejadas no ecossistema das pastagens podem apresentar problemas na produtividade das pastagens. Assim, plantas de *Sorghum halepense* (L.) Pers. (campim-massambará); *Brachiaria decumbens* (capim braquiária); *Andropogon bicornis* L. (capim-rabo-de-burro) podem necessitar de um manejo adequado devido as características semelhantes as espécies usadas como forrageiras.

No Brasil existem diversos levantamentos realizados das plantas daninhas que ocorrem em pastagens. Assim, Dantas & Rodrigues (1980) realizaram um levantamento em pastagens cultivadas na Amazônia, apresentando uma lista de 266 espécies pertencentes a 54 famílias e 168 gêneros. Gonçalves et al. (1974)

apresentam uma relação de 144 espécies invasoras de pastagens do Estado do Pará, indiciando as mais frequentes nas áreas levantadas.

Evidentemente ocorre uma variação das espécies em função das áreas onde se localizam as pastagens no Brasil. POTT & POTT (2006) apresentam as principais plantas daninhas que ocorrem no cerrado. Todavia, pelo dados de trabalhos já realizados, algumas das principais plantas daninhas de ocorrência nas pastagens encontram-se na tabela 1.

As plantas tóxicas que ocorrem no Brasil, tem uma importância enorme pelo número de mortes dos bovinos adultos. Na região Norte do Brasil ocorre os maiores prejuízos de morte de bovinos adultos. A grande maioria de mortes, é provocada por uma única planta tóxica *Palicourea marcgravii* (cafezinho). Estima-se que 80% das mortes na região amazônica é causada por essa planta (Tokarnia et al. 2000).

## *Controle químico das plantas daninhas em pastagens*

O controle químico é realizado com a utilização de produtos químicos denominados herbicidas, que provocam a morte ou impedem o desenvolvimento dos arbustos. Esses produtos devem controlar os arbustos e serem seletivos às gramíneas forrageiras. Essa seletividade é devido a aspectos morfológicos das plantas como também a habilidade da gramínea forrageira em degradar metabolicamente parte do herbicida que é absorvido (seletividade bioquímica).

Os herbicidas utilizados em pastagens, de modo geral, são sistêmicos, ou seja, após a absorção necessitam ser translocados até o local de ação na planta daninha.

## *Herbicidas mimetizadores de auxina*

Esse grupo de herbicidas tem importância pela sua utilização em áreas de culturas gramíneas, como trigo, arroz, milho e pastagens. O primeiro herbicida oficialmente registrado no Brasil foi o ester butílico do ac. 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) que tinha o nome em inglês de "weed-no-more" e recebeu o nome de mata-mato-mágico. Esse registro ocorreu em 1948 (Deuber, 1992).

***TABELA 1. Principais plantas daninhas de ocorrência em pastagens no Brasil.***

| Nome Vulgar | Nome Científico | Ciclo de Vida |
|---|---|---|
| Alecrim-do-campo | *Brachiaria dracunculifolia* | P |
| Arranha-gato | *Acácia plumosa* | P |
| Arnica | *Solidago chilensis* | P |
| Algodão-de-seda | *Calotropis procera* | P |
| Assa-peixe-branco | *Vernonia polianthes* | P |
| Assa-peixe-roxo | *Vernonia westiniana* | P |
| Babaçu | *Orbygnia speciosa* | P |
| Bacuri | *Attalea phalerata* | P |
| Cafezinho, erva-de-rato | *Palicourea marcgravii* | P |
| Cajussara, cega-jumento | *Solanum rugosum* | P |
| Cambara | *Lantana câmara* | P |
| Carqueja | *Bacharis trimera* | P |
| Canela-de-perdiz, gervão | *Cróton grandulosus* | A |
| Camboata | *Tapirira guainensis* | P |
| Ciganinha | *Memora peregrina* | P |
| Cipó-de-São João | *Pyrostegia venusta* | P |
| Espinho-agulha | *Barnadesia rósea* | P |
| Fedegoso, mata-pasto | *Senna occidentalis* | A |
| Fedegoso branco | *Senna obtusifolia* | A |
| Guanxuma | *Sida* spp | A/P |
| Jurubeba | *Solanum paniculatum* | P |
| Jurubebão, lobeira | *Solanum lycocarpum* | P |
| Lacre | *Visnia guianenis* | P |
| Leiteiro | *Peschiera fuchsiaefolia* | P |
| Limãozinho | *Acantocladus brasiliensis* | P |
| Mata-pasto | *Eupatorium laevigatum* | P |
| Mata-pasto | *Eupatorium maximilianii* | P |
| Mata-pasto | *Eupatorium squalidum* | A |
| Malicia | *Mimosa invisa* | P |
| Pata-de-vaca | *Bauhinia forficata* | P |
| Tarumã | *Vitex montevidensis* | P |
| Taboca | *Guadua angustifólia* | P |
| Tucum | *Astrocaryum tucuma* | P |

É interessante comentar que a descoberta do picloram ocorreu quando os cientistas estavam estudando o uso de uma piridina para inibir a nitrificação no solo de adubos nitrogenados. Pela nitrificação os íons nitrato ficam disponíveis no solo, mas quando ocorre de uma forma rápida pode lixiviar e contaminar águas subterrâneas. No solo a piridina usada foi transformada pelos microorganismos em picloram, que passava a matar plantas (ZINDHAL, 1999).

As auxinas são reguladores de crescimento que estimulam o crescimento das plantas. O ácido indolacético (AIA) é uma auxina natural que tem como precursor o aminoácido triptofano. Os herbicidas desse grupo desregulam o crescimento das plantas.

As principais características dos herbicidas desse grupo são: a) os herbicidas desse grupo agem em locais de ligação da auxina com proteínas nas membranas celulares, provocando um desbalanço hormonal e afetando a síntese de proteínas; b) apresentam translocação predominantemente simplástica, mas podem translocar pelo apoplasto; .c) controlam plantas daninhas dicotiledôneas em culturas de gramíneas; d) a volatividade depende da formulação, sendo os ésteres mais voláteis. Os ésteres com pequeno número de átomos de carbono no radical são mais voláteis (metil, etil, propil e butil); e) geralmente são móveis no solo, e a persistência não é alta (exceção para o picloram); f) geralmente são ácidos fracos com pKa variando de 2 a 4. A solubilidade depende da formulação sendo alta para os sais, moderada para os ácidos e baixa para os ésteres; g) deve-se tomar cuidado com a deriva quando existem culturas sensíveis próximas, como algodão, tomate, uva e cucurbitáceas; h) deve-se adotar procedimentos de descontaminação dos pulverizadores, após o uso com herbicidas desse grupo, utilizando amoníaco a 3% por 24 h, e após lavagem com detergente. Também pode ser usado carvão ativado a 3g/l por 1 a 2 dias e após lavagem com detergente.

## *Mecanismo de ação*

O mecanismo de ação desses herbicidas ainda não está completamente esclarecido. Sabe-se que eles interferem no metabolismo do ácido nucleico e com os aspectos metabólicos da plasticidade da parede celular. Trabalhos de pesquisa mais recentes procuram esclarecer os aspectos do mecanismo de ação (Grossmann, 2009; Mithila, J. et al., 2011, Grossmann et al. 2001).

Esses herbicidas interferem na ação da enzima RNA-polimerase e, consequentemente, na síntese de ácidos nucleicos e proteínas. Dependendo da concentração que atinge as regiões meristemáticas caule ou da raiz, observam-se os sintomas. Assim, em altas concentrações inibem a síntese de ácidos nucleicos, mas em baixas concentrações estimulam estes processos, provocando multiplicação celular intensa. Esse crescimento celular provoca epinastia nas folhas e caules, como também ocorre interrupção do fluxo de fotoassimilados no floema (LIEBL, R. 1997)..

Também se verifica aumento da enzima carboximetilcelulose (CMC), principalmente nas raízes, que provoca a destruição do sistema radicular.

Os principais sintomas observados devido a ação no crescimento e estruturas das plantas são: epinastia nas folhas; retorcimento dos pecíolos, pedúnculos e caules; proliferação de tecidos no floema, provocando a redução na translocação de fotoassimilados; formação de raízes adventícias; morte de raízes secundárias.

Assim, a epinastia pode ocorrer minutos após a aplicação, o crescimento paralisa em horas e a formação de calos e raízes adventícias em dias. Como conseqüência dos sintomas e da paralisação de absorção de água e nutrientes a planta morre.

**A seletividade** dos herbicidas desse grupo ocorre pelas seguintes razões:

absorção diferenciada entre as plantas. As gramíneas, tendo as folhas mais verticais, e proteção das gemas absorvem menor quantidade do herbicida.; b) a anatomia das gramíneas com os feixes protegidos pelo esclerênquima evita o dano ao floema c) metabolismo – a hidroxilação do 2,4-D e a conjugação com glucose ou aminoácidos é o meio de proporcionar a seletividade; d) excreção do herbicida pelas raízes pode ocorrer com algumas plantas; e) a alteração no local de ação da auxina na plasmalema pode modificar a sensibilidade.

## *Absorção dos herbicidas pelas plantas*

A folha é a principal via de penetração dos herbicidas aplicados à parte aérea das plantas. A grande maioria dos herbicidas recomendados para pastagens são aplicados a folha. A aplicação do herbicida a folhagem só terá sucesso quando forem observadas as seguintes condições (Victoria Filho, 1985):

a) **o herbicida deve atingir o alvo** com uma cobertura o mais uniforme possível. Todavia, isso não acontece em muitas aplicações de campo. Uma das razões pelas quais os herbicidas não atingem adequadamente o alvo é o "efeito de cobertura" (guarda-chuva), quando os herbicidas atingem somente a camada superior de uma população de plantas, não controlando as plantas daninhas que estão abaixo. Também a deriva (movimento lateral das gotas na aplicação) e a volatilização podem evitar que um determinado herbicida atinja o alvo em concentração adequada. Outro fator importante é a regulagem dos equipamentos. b) **o herbicida deve ser retido pela folha**. A morfologia das plantas tem um papel importante na retenção e é um dos fatores pelos quais determinados herbicidas são seletivos para gramíneas em pastagens, pois estas apresentam as folhas estreitas, eretas e com seus pontos de crescimento protegidos.

A retenção do herbicida na folha é influenciadas pelas características da superfície foliar, assim como pelas características de calda de aplicação. A molhabilidade de uma superfície foliar depende da constituição da planta, assim como da presença de pêlos na superfície.

Plantas com cutícula cerosa e espessa, como as folhas mais velhas, e aquelas com maior número de pêlos, são mais difíceis de serem molhadas por soluções aquosas. Entretanto, a molhabilidade de uma superfície foliar pode ser melhorada com a adição de uma substância apropriada, denominada surfatante. Surfatante é um agente ativador da superfície ou seja, uma substância que, adicionada a outra substância ou mistura, promove, por ação interfacial, a adesão ou o equilíbrio estável entre as fases de contato (Camargo, 1977). Existem diversos tipos de surfatantes, com propriedades especificas, como, por exemplo, os adesionantes, os umectantes, os hipotensores e os viscosantes. De modo geral, os surfatantes aumentam a retenção e penetração de um herbicida na folha por um ou mais dos seguintes fatores: a) aumento da área de contato entre o herbicida e a superfície foliar pela diminuição da tensão superficial da solução do herbicida; b) eliminação dos filmes de ar entre a solução e a superfície foliar; c) auxilia a passagem através da cutícula; d) aumenta a entrada do herbicida pelos espaços intercelulares e estômatos; e) diminui a volatilização da solução na superfície foliar (Anderson, 1983). c) **o herbicida deve ser absorvido** - todo herbicida aplicado à parte aérea das plantas tem como caminho de entrada principal as folhas, mas também pode entrar pelo caule ou pelas gemas. A principal barreira à penetração dos herbicidas aplicados à folha é a cutícula, que reveste toda a superfície foliar, inclusive as câmaras subestomáticas dos estômatos. De modo geral, a face abaxial (dorsal) das folhas, tendo uma camada menos espessa de cutícula. permite com maior facilidade a penetração dos herbicidas.

A cutícula é constituída de cera, cutina, pectina e celulose. As ceras são lipofílicas, a cutina é parcialmente lipofílica, a pectina e celulose são hidrofílicas. Portanto, existem duas rotas de penetração de substâncias através da cutícula: a rota aquosa, que ocorre com as substâncias polares (ex.: água), que atravessam a cutícula difundindo-se nas substâncias polares da cutícula (ex.: pectina), que formam canalículos provocando o distanciamento das plaquetas de cera quando a cutícula está hidratada; e a rota lipoidal, que ocorre com as substâncias não polares (ex.: Óleo), que penetram mais facilmente pela cera e pela cutina. Portanto, de modo geral, os óleos e herbicidas veiculados em óleo penetram mais facilmente pela cutícula do que a água e herbicidas solúveis em água. A passagem de qualquer substância pela cutlcula é por difusão, ou seja, o movimento do produto químico é feito pelo gradiente de concentração.

A espessura da cutícula varia de 0,1 a 1 0 um dependendo da espécie e das condições ambientais. Na tabela 2 podem ser observadas a presença de componentes polares e não polares na cutícula de diversas plantas daninhas.

Nas figuras 1 e 2 estão apresentadas as superfícies foliares das plantas de *Peschiera fuchsiaefolia, Vernonia polyanthes* (Mendonça et al, 2002).

Após a passagem pela cutícula, os íons ou moléculas devem atravessar a parede celular, que seria a parte correspondente à celulose no desenho esquemático da cutícula. A passagem é facilitada para as substâncias

solúveis em água. A barreira seguinte é a plasmalema, membrana que envolve o citoplasma. A passagem na plasmalema é feita por absorção ativa, ou seja, requer energia no processo. Atravessando a plasmalema, o herbicida cai no citoplasma e dai é normalmente transportado até o local de ação na planta.

A passagem do herbicida através da cutícula, da parede celular e da plasmalema é influenciada por uma série de fatores ligados à solução do herbicida aplicado, como aqueles relativos às características da cutícula. Também as condições ambientes influem no processo: **Luz** - até certo ponto aumenta a absorção porque aumenta a intensidade fotossintética e, consequentemente, o movimento do herbicida juntamente com os produtos fotossintetizados na planta. Todavia, em determinadas situações, a alta intensidade luminosa provoca uma cutícula mais espessa e também maior número de pêlos que dificultam a absorção; **Temperatura** - de modo geral, dentro dos limites fisiológicos de cada planta, a absorção dos herbicidas pela folha aumenta

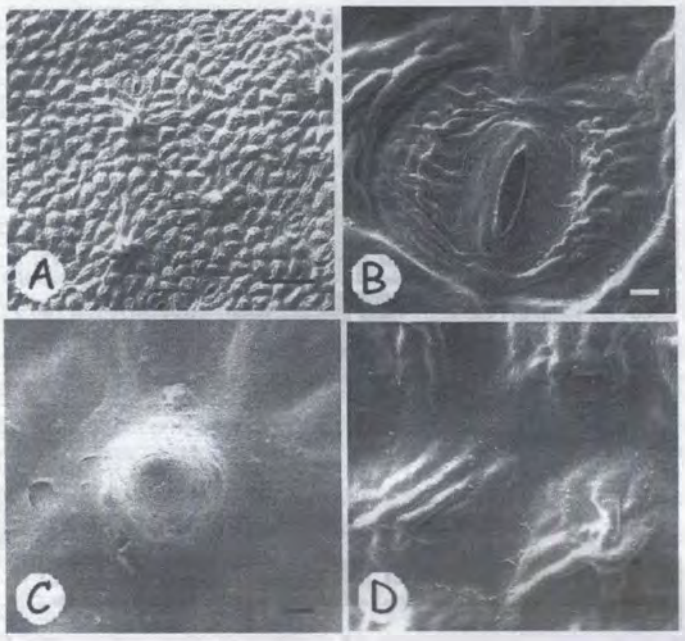



***Figura 1.*** *Superfície foliar adaxial de Peschiera fuchsiaefolia (leiteiro). A - Visão geral da superfície foliar (200x); B: Detalhe do estômatos (2000x); C: Detalhe do tricoma (2000x); O: Detalhe das células epidérmicas (2000x).*

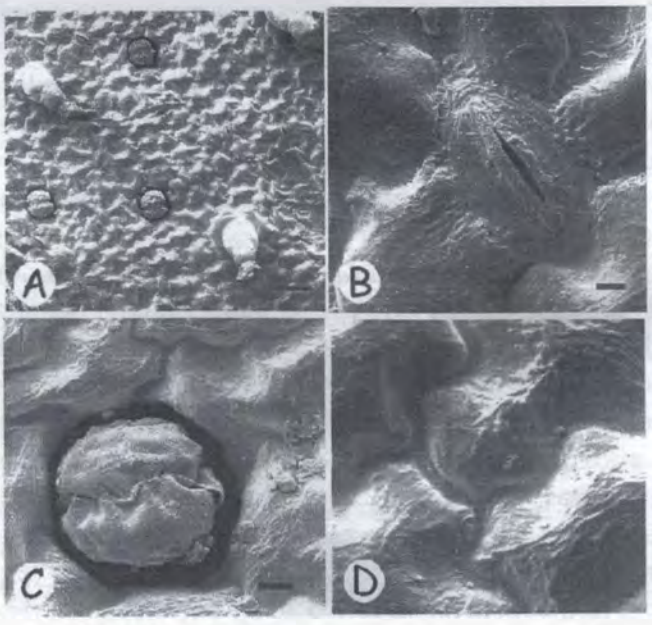



***Figura 2.*** *Superfície foliar adaxial de Vemonia polyianthes (assa-peixe). A - Visão geral da superfície foliar (200x); B: Detalhe do estômato (2000x); C: Detalhe do tricoma glandular (1000x); D: Detalhe da superfície das células epidérmicas (2000x)..*

com a temperatura. Todavia, também temperaturas elevadas podem diminuir a absorção, por proporcionar uma cutícula mais espessa; **Umidade relativa** - a umidade relativa influencia a absorção e translocação dos herbicidas aplicados à folha porque afeta diretamente o tempo de permanência da gota na superfície foliar como também afeta a hidratação da cutícula. Baixa umidade relativa causa evaporação mais rápida da gota, dificulta a penetração na cutícula e pode provocar um estresse de umidade na planta; **Chuva** - a influência da chuva na absorção dos herbicidas pela folha depende primariamente das características de cada herbicida, pois alguns são absorvidos rapidamente, enquanto outros são lentamente absorvidos. De modo geral, os herbicidas formulados em óleo são menos afetados pela chuva que aqueles veiculados em água (Ross & Lembi, 1985); **Estresse de umidade** - plantas em estado de estresse de umidade apresentam cutícula mais espessa, mais pubescente e, consequentemente, a absorção de um herbicida será menor, como também a translocação devido à menor atividade metabólica da planta (Hess, 1985); **vento** - o vento afeta indiretamente a absorção pelo fato de aumentar a evaporação da gota na superfície foliar. Também plantas crescendo em condições de muito vento e altas temperaturas apresentam normalmente cutícula mais espessa e mais pubescente, que dificulta a absorção. Todavia cabe ressaltar que exposições breves ao vento podem provocar danos na cutícula, pela ação abrasiva das partículas da poeira, e permitir a absorção mais rápida do herbicida

TABELA 2. Porcentagem de componentes não polares e polares, bem como o pH na superfície da folha de diversas espécies infestantes.

| Espécies | Não polares (%) | Polares (%) | pH |
|---|---|---|---|
| Cyperus rotundus | 82 | 17 | 7,2 |
| *Brachiaria plantaginea* | 17 | 82 | 7,0 |
| *Cynodon dactylon* | 12 | 88 | 6,4 |
| *Digitaria sanguinalis* | 37 | 62 | 7,0 |
| *Panicum dichotomiflorum* | 17 | 82 | 7,0 |
| *Sorghum halepense* | 6 | 93 | 7,0 |
| *Amaranthus retroflexus* | 44 | 55 | 8,0 |
| *Datura stramonium* | 92 | 7 | 6,6 |
| *Ipomoea purpúrea* | 32 | 68 | 8,2 |
| *Senna obtusifolia* | 7 | 93 | 6,8 |
| *Sida spinosa* | 85 | 14 | 8,2 |
| *Solanum nigrum* | 88 | 11 | 8,4 |
| *Xanthium orientale* | 58 | 41 | 6,5 |

SANDOS-AGRO, 1991.

c) **o herbicida deve ser translocado até o local de ação** - alguns herbicidas de aplicação à folhagem são considerados de ação tópica, ou seja, atuam somente nos tecidos nos quais entram em contato. Entretanto, a grande maioria deles se move do local de aplicação para outras partes das plantas. São denominados herbicidas de translocação ou sistêmicos.

Nas tabelas 3 e 4 observa-se o comportamento do herbicida 2,4-D em planta de ciganinha (Mendonça et ai, 2005). Observa-se a absorção que ocorreu até 48 horas após a aplicação como também a insignificante translocação fora da folha tratada.

**TABELA 3.** Porcentagens de absorção de $^{14}C$ 2,4-D em *Memora peregrina*. Piracicaba, SP, 2004.

| | Porcentagem do $^{14}C$ 2,4-D aplicado | | |
|---|---|---|---|
| **Tempo (horas)** | **2,4-D** | **2,4-D + picloram** | **Dms[1]** |
| 1 | 8,22 | 9,63 | 9,16 |
| 2 | 8,92 | 10,54 | 11,24 |
| 4 | 12,01 | 12,07 | 5,69 |
| 8 | 14,49 | 14,13 | 10,93 |
| 24 | 23,17 | 21,36 | 19,05 |
| 48 | 23,81 | 24,26 | 13,54 |

[1]**dms:** diferença mínima significativa entre médias usando teste de Tukey a 5% de significância.

**TABELA 4.** Translocação de $^{14}C$ 2,4-D absorvido em plantas de *Memora peregrina*, 48 horas após a aplicação, Piracicaba, SP, 2004.

| | Porcentagem do $^{14}C$ 2,4-D aplicado | | |
|---|---|---|---|
| **Tempo (horas)** | **2,4-D** | **2,4-D + picloram** | **Dms[1]** |
| Folha tratada | 98,44 | 99,50 | 2,45 |
| Folha oposta a folha tratada | 0,12 | 0,01 | - |
| Folha acima a folha tratada | 0,14 | 0,37 | - |
| Folhas abaixo a folha tratada | 0,03 | 0,01 | - |
| Caules | 0,99 | 0,09 | - |
| Raízes | 0,28 | 0,02 | - |
| Total translocado | 1,56 | 0,50 | 2,44 |

[1]**dms:** diferença mínima significativa entre médias usando teste de Tukey a 5% de significância.

Os herbicidas podem se mover a pequenas distâncias por difusão mas, para que tenham translocação eficiente na planta, devem penetrar nos tecidos condutores da planta. O conjunto dos protoplastos da planta forma um conjunto vivo e continuo denominado de **simplasto.** O floema é o principal componente do simplasto. As paredes celulares e outras partes não vivas formam também um conjunto não vivo e continuo, denominado de **apoplasto**. O xilema é o principal componente do apoplasto. Alguns herbicidas translocam-se predonimantemente pelo simplasto, sendo, geralmente, aplicados às folhas. São denominados de herbicidas de translocação simplástica. Outros translocam-se predominantemente pelo apoplasto, sendo geralmente aplicados ao solo (herbicidas de translocação apoplástica), e outros translocarn-se tanto no apoplasto como no simplasto (herbicidas de translocação apo- simplástica).

Quando o transporte da molécula do herbicida está associada ao transporte de carboidratos é importante observar esse transporte de acordo com o desenvolvimento da planta. Para alguns herbicidas de aplicação em pós-emergência, a época de aplicação mais adequada para a aplicação é o estágio de pré-florescimento.

A aplicação do herbicida ao solo é influenciada por uma série de fatores tais como:distribuição na superffcie do solo, adsorção, lixiviação, volatilidade, decomposição química, decomposição microbiana e fotodecomposição. Para o uso adequado de uma molécula de herbicida ao solo há necessidade de se conhecer esses fatores que podem afetar o comportamento.

## *3,4 Uso adequado dos herbicidas em pastagens*

O êxito numa aplicação de herbicida em pastagens será obtido quando forem seguidas as seguintes etapas:

a) **identificação das espécies** - o primeiro passo é um levantamento das principais espécies que predominam infestando a pastagem e o conhecimento, se possível, de alguns aspectos da biologia dessas plantas.

b) **escolha do herbicida** - a escolha deve ser feita levando-se em consideração a sensibilidade das principais espécies presentes aos herbicidas disponíveis no mercado. As principais moléculas de herbicidas disponíveis para utilização em pastagem no Brasil são; 2,4-D, picloram, dicamba, triclopyr, fluroxypir, aminopyralide, glyphosate, metsulfuron-methyl e tebuthiurom. Essas moléculas são encontradas para venda em mistura ou isoladamente. Verificada a sensibilidade, o passo seguinte é o aspecto de custo.

Também é importante levar.em conta a formulação do produto a ser utilizado. Os principais herbicidas para aplicação à folhagem em pastagens podem ser encontrados nas formulações amina e éster. Cuidado especial, deve ser tornado com a formulação éster quando se tem, próximo da propriedade, cultura de plantas sensfveis como algodão, tomate, uva, fumo, banana, hortaliças, etc.

c) **escolha do equipamento** - a escolha do equipamento, como também a calibração, são aspectos importantes para o sucesso do controle químico. Muitas das falhas do controle ocorrem devido à aplicação de sub-doses ou de doses muito acima da recomendada.

d) condições ambientais na aplicação - o primeiro aspecto é o estádio de desenvolvimento da planta daninha. A planta daninha deve ter porte adequado para absorver uma quantidade que possa ser translocada até o sistema radicular e provocar a morte. Além disso, deve estar em crescimento ativo.

## *3.5. Métodos de aplicação*

A escolha do método de aplicação depende de uma série de fatores tais como: planta daninha a controlar, estado de desenvolvimento e densidade de ocorrência dessas plantas, disponibilidade de equipamento e mão-de-obra, topografia do terreno e época do ano.

Os principais métodos de aplicação são os seguintes:

a) **aplicação à folhagem** - é o método de aplicação mais comumente utilizado no controle de plantas daninhas em pastagens. Pode ser realizada em área total ou de forma dirigida. A melhor época da aplicação é nos meses quentes e úmidos, quando as plantas estão em atividade metabólica intensa. De modo geral, nos primeiros meses da época chuvosa, quando as plantas têm área foliar suficiente para absorção e translocação do herbicida, o tratamento pode ser feito. Nunca fazer aplicação em planta recém-brotada, pois ela não apresenta área foliar suficiente para absorver a quantidade necessária do herbicida para translocar e matar o sistema radicular.

   A aplicação foliar pode ser realizada com pulverizador costal manual, com pulverizador montado sobre o animal (Burrojet), com pulverizador de barra próprio para aplicação em pastagens ou então com a utilização de aviões agrícolas ou helicópteros. A escolha do tipo de equipamento depende de uma série de fatores, como % de infestação, tamanho da área, topografia, altura das plantas e custo.

   As aplicações em área total normalmente são realizadas quando a porcentagem de infestação é alta, de modo geral em torno de 60%. É muito importante verificar a presença da planta forrageira na área. Não se justifica a aplicação em área total quando a presença da espécie forrageira não é adequada. Já a aplicação dirigida é realizada com o pulverizador costal manual, ou do tipo adaptável ao lombo dos animais.

b) **Tratamento no toco** - a aplicação ao toco tem sido bastante utilizada nas pastagens do Brasil, especialmente no programa de manutenção de pastagens formadas com um certo grau de infestação de plantas daninhas com porte elevado. Consiste em se fazer o corte mais rente do solo e logo após aplicar a solução do herbicida com pulverizador costal ou com pincel. Quando se demora muito para fazer a aplicação após o corte, a planta não absorve quantidade adequada do herbicida para provocar a morte do sistema radicular. Portanto, a recomendação é que se faça a aplicação imediatamente após o corte.
   Esse tipo de aplicação pode ser feito o ano todo, muito embora melhores resultados sejam obtidos

quando a planta está com boa atividade metabólica. Para evitar duplicação nas aplicações no campo normalmente um operador vai na frente cortando os arbustos e outro, atrás, vem fazendo a aplicação do herbicida. Também se recomenda adicionar um corante à solução do herbicida, que pode ser azul de metileno ou violeta de genciana. Isso quando a formulação não apresenta coloração.

c) **tratamento nos troncos** - é realizado para arbustos de grande porte e com diâmetro normalmente maior que 10 cm. Isso porque a aplicação no toco, nesses casos, torna-se mais dispendiosa. Além disso, essas plantas, mortas em pé, ocupam menos espaço da planta forrageira.

A aplicação do herbicida, nesse caso, pode ser feita por pulverização ou pincelamento basal até uma altura de 30-40 em. Normalmente se utiliza solução com óleo diesel. Também pode ser feita a aplicação com injeção, através de equipamentos especiais que injetam o herbicida ao redor do tronco a intervalos de cada 10 cm, ou então através de cortes feitos manualmente ao redor do tronco.

**tratamento no solo** - a aplicação ao solo normalmente é feita com herbicida granulado que tenha o tipo de translocação apoplástica, ou seja, possa ser absorvido pelo sistema radicular a ser transportado até a parte aérea da planta. O herbicida é colocado em quantidade adequada ao redor da planta e, com a ocorrência de chuva, é arrastado e absorvido pelo sistema radicular do arbusto.

## *3.6 Tipos de uso dos herbicidas em pastagens*

O herbicida pode ser utilizado no manejo de invasoras em pastagens nas seguintes situações: a) auxílio de formação de pastagens – nas áreas de mata virgem antes da implantação de espécies forrageiras é feito o corte e a extração da madeira de lei. Após é feita a derrubada manual ou mecânica. O fogo é utilizado quando o material já está seco, para permitir a semeadura do capim. Na fase de formação ocorre então a infestação de juquira, que, em muitas situações exige a aplicação do herbicida em área total com trator ou avião; b) limpeza da pastagem – é uma situação de uso do herbicida em pastagens que, devido ao manejo inadequado, foram reinfestadas pelas plantas daninhas. A aplicação do herbicida é feita então em área total quando a % de infestação é alta, mas deve haver boa presença de capim para que a pastagem possa se recuperar após o controle das plantas daninhas; c) manutenção de pastagens – seria a utilização do herbicida de forma dirigida, via foliar ou toco, visando o controle da infestação não muito altas.

## *3.7 Principais herbicidas utilizados em pastagens*

Os principais herbicidas registrados para a aplicação em pastagens no Brasil são: (Rodrigues e Almeida, 2011).

a) 2,4-D- ácido 2,4 diclorofenoxiacetico
formulação: sal amina e éster
marcas comerciais diversas: DMA 806 BR, Herbi D480, Aminol 806, U460-Fluid , 2,4-D Nortox, Alminamar, Bratt, Campeon, Dez, Grant, Navajo, Pren-D806 e U46BR
- volatilidade - depende da formulação. As formulações amina são praticamente
Não voláteis e as formulações ésteres podem ser de alta ou de baixa volatilidade, dependendo da cadeia carbônica do radical éster.
- absorção: é absorvido pelas folhas, raiz e caule.
- translocação: apossimplástica
- persistência: curta no solo (1 a 4 semanas)
- tolerância de resíduos: carne, leite, ovos e produtos lácteos - 0,05 ppm.

O 2,4-D é utilizado isoladamente no controle de plantas daninhas de pastagens bastante sensíveis (plantas moles). Seu uso maior é em associação com as moléculas de picloram, ou dicamba, ou triclopyr.

b) **picloram** - ac. 4-amino - 3,5,6 tricloropicolinico
- formulação: sal amina
- marcas comerciais: Padron (240 g/L), Pique 240 SC, Runner, Texas, Tropero. Misturas: Tordon (64 g

e a/L de picloram + 240 g e.a./l de 2,4-D); Mannejo (40 g e.a/l de picloram + 120 g e.a/l de 2,4-D) ; Grazon (15 g e.a/l de picloram + 105 g e.a/l de 2,4-D); Dontor 22,5 g e.a/l de picloram+ 360 g e.a/l de 2,4-D); Disparo (27 g e.a/l de picloram + 360g e.a/l de 2,4-D); Arena, Artys, Galop, Tucson, Turuna (todos com 64 g e.a/l de picloram + 240 g e.a/l de 2,4-D).

volatilidade: baixa 6,2 x $10^{-7}$ mHg a 25°C

- absorção; folhas, raiz e caule
- translocação: apossimplástica
- persistência: variável dependendo de condições ambientais
- tolerância de resíduos na carne: 0,2 ppm

A mistura picloran + 2,4-0 (Tordon/2,4-D) tem sido bastante utilizada em pastagens no Brasil, e o herbicida picloram (PADRON) isoladamente tem sido mais indicado para aplicação no toco (Ladeira Neto & Vicino, 1995).

c) **triclopyr** - ác. [(3,5,6-tricloro) -2-piridinil) oxi] acético - formulação: sal amina

- marcas comerciais: GARLON (triclopyr) - 480 g e.a./l, Triclon (480 g e a/l)
- absorção: folhas, raiz e caule translocação: apossimplástica
- persistência: meia via no solo de 20 a 45 dias

d) **tebuthiuron** - N-[5-(1, 1-dimetiletil)-1 ,3,4-tiadiazol-2-il]-N-N-dimetiluréia

- formulação: peletizada
- marca comercial: Graslan 100 - 100 *g/kg*
- volatilidade: 2 x 10-6 m kg a 25°C
- absorção: raiz
- translocação: apoplástica
- persistência: alta - plantar culturas rotacionais após 3 anos
- tolerancia de resíduos na gramínea: 20 ppm

e) **fluroxypyr** - [ (4-amino-3,5-dicloro-6-fluoro-2-piridinil)oxi] acético

- formulação: concentrado emulsionável
- marca comercial: STARANE 200 - 200 g *e.a/l* de fluroxypyr

PLENUM - 80 g *e.a/l* do fluroxypyr + 80 g e.a/l de picloram

- volatividade: 3,5 x $10.^{8}$ mm kg
- absorção: folha e raiz
- translocação: apossimplástica
- persistência: meia vida de 34 a 63 dias dependendo do tipo de solo

f) **gliphosate** - N-(fosfonometil) glicina

- formulação: diversas
- marcas comerciais: Direct, Glifos, Glifosato 480 Agripec, glifosato

Atar 48; Glifosato Atanor, Glifosato Nortox, Glifosato Nufarm Gliz 480 SL, Roundup original, Roundup WG, volatilidade: 1,84 x $10.^{7}$ mm Hg a 45°C

- absorção: foliar
- translocação: sim plástica
- persistência no solo: 30 a 90 dias
- utilizado em áreas de renovação de pastagens em aplicação de pré-plantio da nova espécie forrageira na área.

O manejo das plantas daninhas (juquira) é um dos fatores mais importantes que afetam a produtividade das pastagens nas regiões tropicais. Muitas pastagens, em alguns países, encontram-se mais ou menos degradadas e as plantas daninhas que sobrevivem no ecossistema normalmente não são palatáveis e são resistentes ao fogo (SWARBRICK e KENT, 1982). Em muitos países os métodos de controle utilizados são rudimentares e, em alguns são quase inexistentes.

Portanto, há necessidade de maior número de trabalhos científicos nessa área procurando estudar a biologia dessas plantas, como a determinação das fases de seu ciclo biológico, quando são mais sensíveis aos métodos de controle disponíveis. Também são necessários estudos da dinâmica da população das espécies daninhas em pastagens quando sujeitas a diferentes métodos de controle, assim como a duração do efeito dos métodos utilizados. O herbicida se constitui numa ferramenta útil desde que utilizado sempre em associação com outros métodos de controle disponíveis, procurando-se favorecer a planta útil forrageira na luta pela ocupação do espaço no agroecossistema.

## Bibliografia


ALMEIDA, F.S. de. **Combate aos arbustos nas pastagens.** Moçambique. Boletim. 1972. 149 p.

ANDERSON, W.P. Weed Science: Principies. **West Publishing Company. New York,** 1983. 655p.

CAMARGO, P.N. Surfatantes. In: Herbicidas em Florestas. **Boletim Informativo do Instituto Pesquisas Florestais,** IPEF, 1977. p. 144-168

CARVALHO, M.M. de & XAVIER, D.F. **Controle de capim sapé, planta invasora de pastagens. In: Pasta do Produtor 2000.** EMBRAPAICNPGL, Juiz de Fora, MG. 2000 3 p.

DANTAS, M. & RODRIGUES, I.A. **Plantas invasoras de pastagens cultivadas na Amazonia. Belém. Centro de Pesquisas Agropecuária do Trópico Umido.** Boletim de Pesquisa n..1. 1980. 23p.

DEUBER, R. **Ciencia das plantas daninhas Fundamentos.** Jaboticabal FUNEP, 1992. V.1. 431p

DIAS FILHO, M. B. **Plantas invasoras em pastagens cultivadas da Amazônia: estratégias de manejo e controle.** Embrapa, CPATO, 1990. 103p.

DOLL, J. e ARGEL, P. **Guia practica para el control de malezas em potreros. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).** Boletim série ES-22. 1976. 30p.

DUTRA, I. dos S. **Sanidade permitirá que pecuária eleve rentabilidade.** Visão Agrícola, no. 3, Jan/Jun/2005. p. 28-31.

GONÇALVES, CA; PIMENTEL, D.M.; SANTOS FILHO, B.G. **Plantas invasoras de pastagens do Estado do Pará. Belém. Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte.** Boletim Técnico no. 62, 1974. p. 25-37.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. Pest Management Science 2010(66):113-120, 2009.

GROSSMANN, K. ; KWIATHOWSKI, J.; TRESCH, S. **Auxin herbicide induce H2O2 over production and tissue damage in diases (Galium aparrine L.). Journal of Experimental Botany** 52(362):1811-1816. 2001.

HESS, F.D. **Herbicide absorptlon and translocation and their relationship to plant tolerance and susceptibility. In: Weed Physiology.** Vol. Ii. CRC Press Inc. Florida. 1985. p. 191-214.

LADEIRA NETO, A. & VICINO, V.C. **Controle de plantas daninhas em pastagens ganha mais quem maneja melhor.** Revista A Granja Especial. Julho/1995. p. 1-10.

LIEBL, R. Growth regulator herbicides. **In: herbicide Action Course, Purdue University,** Indiana, USA. 1997. 827p.

MENDONÇA, C.G. de; Tornisielo, V.L.; VICTORIA FILHO, R.; LACERDA, A.L. de S. **Absortion and translocation of 2,4-0 in plants of Mamora peregrina.** Journal of Environmental Science cand Health, vol, B40(1):137-143, 2005.

MENDONÇA, C.G. de; VICTORIA FILHO, R.; MARCON, U.M.; LACERDA, A.L.S. **Caracteristicas ultra-estruturais das superfícies foliares de plantas daninhas dicotiledôneas. In: XXIII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas,** Gramado,RS, p. 22, 2006

MITHILA, J.; CHRISTOFOPHER HALL, J. JOHNSON, W.G.; KELEY, K.B.; RIECHERS, D.E. **Evolution of resistence to auxinia herbicides: historical perspectives, mechamins of resistence and implications for ????? wed management in agronomic crops.** Weed Science 59:445-457, 2011.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia dos herbicidas.** 6ª edição, Londrina 2011. 697p.

ROSS, MA & LEMBI, CA Applied Weed Science. **Macmillan Publishing Company.** New York. 1985. 339p.

SWARBR/CK, J.T. & KENT, J.H. **The status ofweed control in tropical pastures. In: FAO, Improving Weed Management,** paper 44. 1982. p. 126-134.

TOKARNIA, C.H.; DOBEREINER, J.; PEIXOTO, P.U. **Plantas Tóxicas do Brasil. Editora Heliunthus.** Rio de Janeiro, 2000. 310 p.

V/CTORIA FILHO, R; LIMA, J.F. de. **Controle do capim-braquiaria (Brachiaria decumbens Stapf) na implantação de algumas gramlneas forrageiras.** In: XIV Congresso de la Asociacion Latinoamericana de Ma/ezas (ALAM) e XXIX Congreso de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiologia Vegetal (COMALFI), Cartagena de índias, Colômbia, p. 91, 1999.

VICTORIA FILHO, R **Controle de plantas daninhas em pastagens.** In: PEIXOTO, AM.; MOURA, J. C. de; FARIA, V.P. Pastagens na Amazônia. FEALQ, 1986. p., 72-90.

VICTORIA FILHO, R **Fatores que influenciam a absorção foliar dos herbicidas.** Informe Agropecuário. 11(129):31-38, 1985.

VICTORIA FILHO, R.; CORSI, M.; BALSACOBRE, M.A.A.; SANTOS, P.M.; LADEIRA NETO, A.; SVICERO, E.F. **Determinação do período crítico de interferência de plantas daninhas na implantação de pastagem de Brachiaria brizantha.** In: XV Congreso de la Associacion Latinoamericana de Malezas (ALAM) Y x Jornada Venezolanas Cientifico Técnicas em Biologia y Combate de Malezas. Venezuela, 2001. p.118.

VICTORIA FILHO, R; CORSI, M.; BALSALOBRE, MAA; SANTOS, P.M.; LADEIRA, A; SVICERO, E.F. **Determinação do perfodo critico de interferência de plantas daninhas na implantação de pastagem de Brachiaria brizantha.** In: XV Congreso de la Asociacion Latinoamericana de Malezas e X Jornadas Venezolanas Cientifico Técnicas em Biologia y Combate de Malezas. Venezue/a. 2001, p. 118.

VIEIRA, J.M. & KICHEL, A.N. **Estabelecimento e recuperação de pastagens de Panicum maximum.** In: Simposio sobre Manejo de Pastagens. 12. Anais. Piracicaba –FEALQ. 1995. P.147-196.

ZIMMER, A.H.; EUCLIDES, V.P.B. **Importância das pastagens para o futuro da pecuária de corte no Brasil.** In: Simpósio de Forragicultura e Pastagens: Temas em Evidências, Lavras, Anais. P. 1-51,2000.

ZINDHAL, RL. Fundamentais of Weed Science. **Academic Press Incorporation California,** 1999. 556 p.

# Global Strategies for the Management of Herbicide Resistance Weeds

John Soteres, PhD
**Monsanto St. Louis, USA**

Stewarding available herbicides and herbicide technologies is a priority of Monsanto. Monsanto's weed resistance management programs (WRM) are focused on glyphosate and other herbicides important to agriculture and non-agricultural production systems. The goals of these WRM programs are to (1) delay evolution of herbicide resistance in new weed species and (2) retard or stop the spread of existing resistant populations. The tactics used to accomplish these goals include; (1) identify the most cost effective diversified weed management program, (2) design and implement effective farmer and farm advisor education and training programs, (3) design and implement marketing programs, as appropriate, to encourage adoption of best management practices, (4) monitor for resistance in order to identify it early, and (5) foster research to better understand mechanisms of resistance and to identify the most effective management strategy for each farming situation.

Resistance to glyphosate has increased over the last 15 years. The first recorded resistance to glyphosate was in areas where glyphosate was used in the traditional use markets: Australia 1996, *Lolium rigidum* in fallow ground; Australia 1997, *Lolium rigidum* in apples, Malaysia 1997, *Elusine indica* in rubber plantation. The first case of glyphosate resistance was recorded approximately 15 years after first use in Australia. To date glyphosate resistance has been found in populations of 23 species, across 18 genus and in 15 countries. Of these weeds, *Lolium* spp., *Conyza* spp., *Amaranthus* spp. *Digitaria* sp. and *Ambrosia* spp infest the largest areage with glyphosate resistant *Lolium* spp. and *Conyza* spp populations being the most widely distributed around the world. Currently a little more than half of the total number of glyphosate resistant species evolved as a result of intensive glyphosate use in Roundup Ready crops. Populations of *Conyza* spp. resistant to glyphosate were first reported in the U.S. approximately 4 years after the introduction of Roundup Ready soybeans. However, there had been previous selection pressure in this species due to the preplant use of glyphosate in conservation tillage systems. In the case of other weed species (i.e. *Amaranthus* spp., *Ambrosia* spp., *Sorghum halenpense*, *Conyza* spp. (Brazil), and *Digitaria insularis*) glyphosate resistance evolved after approximately 8-10 years of continuous use and intense selection pressure. Overall, considering the intensive use of glyphosate and the broad spectrum of weeds controlled by glyphosate (~300 worldwide) there are relatively few species (23) with evolved resistance compared to other popular herbicides and herbicide groups.

What we have learned from the evolution of weeds resistant to glyphosate is that intensive and exclusive use of any herbicide over an extended period of time is not a sustainable practice. The factors most often associated with the evolution of glyphosate resistance are; (1) exclusive reliance on glyphosate in the absence of other herbicides or mechanical weed control operations for weed control over multiple seasons, and (2) use of 'low dose'. The scientific evidence that low dose can speed the evolution of resistance to glyphosate and other herbicides has increased. In addition to the intensity of selection pressure and low dose, it has become more apparent, as we have learned more about glyphosate resistant mechanisms, that differences in frequency of resistance alleles among species and/or the time it takes for accumulation of resistance alleles within a biotype are critical factors to understanding the difference among species in terms of the probability for resistance to evolve.

Monsanto's strategy for managing glyphosate resistance includes defining best weed management practices for both proactive, those implemented before resistance has evolved, and reactive management,

those implemented to respond to the presence of resistance. In general, managing resistance to glyphosate and other herbicides means incorporating more diversity into the weed management program. An integrated approach composed of multiple herbicides applied in mixtures, sequences or rotations with consideration to appropriate mechanical and cultural practices provide the best opportunity to incorporate needed diversity. There is a increasing body of evidence from field trials and use of models that herbicide sequences (i.e. a soil active pre-emergence herbicide followed by a postemergence active herbicide) and postemergence mixtures are as effective or more effective than rotating from one herbicide to another in alternate years (Wrubel and Gressel 1994, Powles et. al. 1997, Neve et. al. 2011, Neve et. al. 2011).

Farmer education and training is a critical component of resistance management programs because ultimately the farmer decides on his weed management program. These programs must focus on proactive management practices and reactive practices. In many situations, proactive programs will require fewer inputs than reactive programs. However, since proactive programs generally include the use of herbicides with overlapping/redundant activity, the costs of these programs are generally higher than the farmer would otherwise consider which makes it a challenging decision for the farmer. This situation also is a challenge for weed scientists and farm advisors in terms of generating the appropriate information needed by farmers to make this decision. Surveys designed to better understand farmer's perceptions of resistance are useful in designing the best possible farmer education and training programs. For example, farmer perception studies have indicated that the reluctance of farmers to adopt proactive management strategies is greatest when they believe that (1) industry would provide new options for weed management, (2) individual action has little effect on resistance, and (3) there is low awareness of how practices affect resistance. This type of information suggests that we need to design farmer education programs that highlight the importance of individual action and to emphasize the shrinking number of effective herbicide options for managing some species.

Monsanto has developed a number of farmer focused programs to promote the proactive adoption of best management practices in Roundup Ready crops. In several countries, these programs are presented under a Roundup Ready Plus™ brand. These programs are designed to promote the implementation of diversified weed management programs in Roundup Ready crops and to promote the need for proactive management. The programs include developing the best technical recommendations in cooperation with academics and farm level agronomists, implementing farmer education programs to increase awareness of the need to implement best management practices, and promoting the benefits of proactive management. A basic message in these programs is about the importance of using other herbicides and/or weed control methods in addition to glyphosate. Recommended practices are developed in cooperation with academics and the herbicides included in the program are not restricted to those only sold by Monsanto. In addition, individual programs have been implemented to address special weed management situations. For example, farmer-focused programs has been implement in Canada and Brazil to restrict spread of glyphosate resistant *Kochia* sp. and glyphosate resistant *Digitaria insularis*, respectively.

Herbicide resistance is a serious issue that requires both the public and private sectors to aggressively develop and implement appropriate stewardship programs. Monsanto is committed to stewarding glyphosate and other herbicides and to working collectively with private and public organizations focused on this. Our ultimate success in influencing farmer practices lies in our individual and collective efforts to facilitate farmer understanding and adoption of diversified weed management programs.

## References


*Wrubel, Roger P. and Jonathan Gressel. 1994.* ***Are Herbicide Mixtures Useful for Delaying the Rapid Evolution of Resistance? A Case Study.*** *Weed Technology, Vol. 8, No. 3 (Jul. - Sep., 1994), pp. 635-648*

*Powles, S. B., C. Preston, I. B. Bryan, and A. R. Jutsum. 1997.* ***Herbicide resistance: impact and management.*** *Adv. Agron. 58:57–93.*

*Neve, Paul, Jason K. Norsworthy, Kenneth L. Smith, and Ian A. Zelaya. 2011.* ***Modeling Glyphosate Resistance Management Strategies for Palmer Amaranth (Amaranthus palmeri) in Cotton.***

*Weed Technology 25:335–343*

*Neve, P., J. K. Norsworthy, K. L. Smith, and I. A. Zelaya. 2011.* ***Modeling evolution and management of glyphosate resistance in Amaranthus palmeri.*** *Weed Res. 51:99–112.*





SABi
UFRGS 06877475

Promoção

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas
*(Brazilian Weed Science Society)*
SBCPD

Realização

unesp

Embrapa
Milho e Sorgo

## Patrocinadores MASTERS

BASF
The Chemical Company

Bayer CropScience

Dow AgroSciences

MONSANTO

syngenta

## Patrocinadores STANDART

MILENIA

Nufarm

## Apoio

ANDEF
Associação Nacional de Defesa Vegetal

Anhanguera Universidade UNIDERP

CAPES

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Cultivar

USP ESALQ

FMC

HRAC-BR

ISK BIOSCIENCES

Governo de Mato Grosso do Sul
EM PLENO DESENVOLVIMENTO

PORTAL DIA de CAMPO

SEPROTUR
Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agrário, da Produção, da Indústria, do Comércio e do Turismo

www.esa-comunicacao.com.br