

# CAPÍTULO 5

## PLANTAS TRANSGÊNICAS RESISTENTES A HERBICIDAS E INTERAÇÕES COM O MEIO AMBIENTE

ANTONIO L. CERDEIRA  
STEPHEN O. DUKE  
DIONISIO L. P. GAZZIERO  
MARCUS B. MATALLO  
DENIZART BOLONHESI



## INTRODUÇÃO

Apenas dois tipos de características de plantas determinadas por transgênicos tiveram efeito significativo na agricultura: resistência a insetos e a herbicidas (Gutterson & Zhang, 2004). O termo “cultura resistente a herbicida” (CRH) refere-se a culturas que se tornaram resistentes a herbicidas ou por meio de tecnologia transgênica ou pela seleção de mutações que conferem resistência em culturas de células ou de tecidos. As CRHs têm sido o assunto principal de inúmeras revisões (DUKE, 2002, DUKE & CERDEIRA, 2005; 2007; GRESSEL, 2002; MEYER & WOLTERS, 1998; SILVERS *et al.*, 2003); e de dois livros (DUKE, 1996; MCLEAN & EVANS, 1995). Em 2006, a resistência a herbicidas continuou a ser a característica transgênica predominante, com 81% das culturas transgênicas possuindo essa característica de forma isolada ou associada com genes da toxina *Bt* de resistência a insetos (13%) (CLIFF, 2006).

## SITUAÇÃO ATUAL

As primeiras CRHs - o algodão resistente ao bromoxynil, nos EUA, e a canola resistente ao glufosinato, no Canadá - foram comercializadas pela primeira vez em 1995. Desde então, plantas transgênicas resistentes a outros herbicidas a partir da utilização de genes diferentes foram disponibilizadas (Tabela 1). Em todos os casos de CRHs, com exceção de algumas cultivares de milho resistentes ao glifosato, o transgênico que confere a resistência ao herbicida é de origem bacteriana. Uma vez que as culturas transgênicas resistentes ao bromoxynil não estão mais sendo utilizadas, elas não serão discutidas no presente trabalho.

**Tabela 1.** Plantas transgênicas resistentes a herbicidas existentes no mercado norte americano. (adaptado de Duke e Cerdeira, 2005).

Herbicidas	Culturas	Ano de introdução
Bromoxynil	Algodão <sup>1</sup>	1995
	Canola <sup>2</sup>	2000
Glufosinato	Canola	1995
	Milho	1997
	Algodão	2004
	Arroz	2006
Glifosato	Soja	1996
	Canola	1996
	Algodão	1997
	Milho	1998
	Beterraba <sup>3</sup>	1999
	Alfalfa	2005

<sup>1</sup> Retirado do mercado em 2004. <sup>2</sup> Retirado do mercado em 2001. <sup>3</sup> Nunca cultivada, retirado do mercado em 2004 e sendo reintroduzida.

## CULTURAS RESISTENTES AO GLIFOSATO

O glifosato (N[fosfonometil]glicina) é um herbicida não seletivo muito eficiente que restringe a via do chiquimato pela inibição da 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), o que resulta em conjuntos reduzidos de aminoácidos aromáticos e na desregularização da via do chiquimato (DUKE, 2005). O glifosato é especialmente eficaz porque a maioria das plantas ou não são capazes de degradá-lo ou o fazem metabolicamente e de forma bastante lenta; mais ainda, o glifosato se transloca bem para tecidos metabolicamente ativos como os meristemas (FRANZ et al., 1997). As culturas resistentes ao glifosato (CRGs) e seus impactos ambientais foram revisadas de modo aprofundado (CERDEIRA & DUKE, 2006). O glifosato é aplicado apenas na folhagem, uma vez que ele tem pouca ou nenhuma atividade no solo.

O gene *CP4* da *Agrobacterium* sp. codifica uma EPSPS resistente ao glifosato bastante eficiente, de modo que as plantas transformadas com

esse gene são altamente resistentes ao glifosato. A glifosato oxidase (GOX), codificada por um gene do micróbio *Ochrobactrum anthropi* (linhagem LBAA), aumenta a resistência ao glifosato (DUKE, 2002). Essa enzima degrada o glifosato convertendo-o em glioxilato, um produto natural seguro e muito frequente, e em ácido aminometilfosfônico (AMPA). Uma mutação múltipla no milho EPSPS endógeno produzida por mutagênese dirigida tem sido utilizada na geração de resistência ao glifosato para fins comerciais em alguns híbridos de milho denominados cultivares GA21 (DILL, 2005).

Até hoje, soja, algodão, canola, milho e alfalfa resistentes ao glifosato encontram-se disponíveis para agricultores na América do Norte (Tabela 1). Todas as cultivares usam o gene *CP4 EPSPS*, com exceção das cultivares de milho GA21. O gene GOX também é encontrado na canola resistente ao glifosato. A taxa de adoção de algodão e soja resistentes ao glifosato na América do Norte tem sido alta, o que se deu em grande parte por causa do custo significativamente reduzido do controle bastante eficaz de pragas obtido com a cultivar resistente ao glifosato/pacote glifosato (GIANESSI, 2005). Aproximadamente 75% dos acres cultivados com canola nos EUA foram plantados com cultivares resistentes ao glifosato em 2003 (GIANESSI, 2005). Na Argentina, a adoção da soja resistente ao glifosato foi ainda mais rápida do que nos EUA, alcançando quase 90% em 4 anos após a introdução (PENNA & LEMA, 2003). A vantagem econômica não é tão evidente com o milho resistente ao glifosato, com taxa de adoção aproximada de 30% em 2006 nos EUA (Economic Research Service, 2006).

## CULTURAS RESISTENTES AO GLUFOSINATO

O glufosinato é uma mistura racêmica sintética de fosfinotricina L e D. A forma ativa de sua molécula é a L-fosfinotricina, um composto natural do *Streptomyces hygroscopicus*, que é um potente inibidor da glutamina sintetase (GS) nas plantas. O glufosinato é um herbicida de amplo espectro que age mais rápido do que o glifosato. Os mesmos organismos que produzem a fosfinotricina ou seu precursor, o bialafos, se protegem dessas toxinas por meio de mecanismos que metabolicamente as tornam inativas com o auxílio da fosfinotricina-*N*-acetil-transferase (PAT) codificada pelos

genes *pat* ou *bar*. Os dois genes apresentam um alto nível de homologia e ambos codificam a enzima PAT. As plantas podem se tornar altamente resistentes ao glufosinato por intermédio de qualquer um desses genes. De modo a tirar vantagem dessa situação, esses genes têm sido utilizados de forma extensiva como marcadores de seleção na transformação de várias espécies de plantas. Canola, algodão e milho que se tornaram resistentes ao glufosinato com auxílio do gene *bar* são, vez ou outra, cultivados na América do Norte (Tabela 1).

## EFEITOS GERAIS

Poucos estudos adotaram uma abordagem global para resumir os efeitos ambientais significativos das CRHs. Em um estudo, por meio da utilização do método do quociente de impacto ambiental, Kleter & Kuiper (2003) calcularam o efeito ambiental total do impacto da exposição do agricultor, do consumo e ecológico associados ao uso de herbicidas com várias CRHs em contraposição àqueles utilizados com as mesmas culturas não transgênicas. A quantidade de herbicida utilizado foi reduzida para todas as culturas, uma vez que todos os impactos são reduzidos em todas as culturas com a adoção de CRHs. Com canola, algodão e soja, os impactos da exposição do agricultor e do consumo foram reduzidos mais do que o impacto ecológico. Análises de Nelson e Bullock (2003), Bennett et al. (2004) e Brookes e Barfoot (2006) previram que a substituição da atual tecnologia de manejo de pragas associada às culturas convencionais pela introdução de CRHs reduzem o risco ambiental.

Houve controvérsias sobre se a utilização de CRHs aumentaram ou não o uso de herbicidas. A forte adoção de soja resistente ao glifosato nos EUA contribuiu para a redução dramática (de até 80%) do custo da maioria dos outros herbicidas da soja, devido à concorrência (NELSON & BULLOCK, 2003), o que poderia resultar indiretamente no maior uso desses herbicidas em culturas de soja não resistente ao glifosato, o que, no entanto, não foi ainda documentado.

## Efeitos no Solo – Contaminação, Erosão e Compactação

Nenhum dos herbicidas atualmente utilizados com culturas transgênicas resistentes a herbicidas são tidos como contaminantes significativos do solo quando aplicados em doses recomendadas. O glifosato adsorve-se fortemente às partículas do solo e é rapidamente degradado pelos micróbios do solo (revisado por DUKE & CERDEIRA, 2005; FRANZ *et al.*, 1997). Ele tem pouca ou nenhuma atividade herbicida após alcançar o solo e é degradado por muitos microrganismos, formando o AMPA (ARAUJO *et al.*, 2003). O glifosato tem uma meia-vida moderada nos solos com duração média aproximado de 47 dias, mas que pode chegar a 174 dias em alguns solos sob certas condições (WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2002). Como o glifosato, o glufosinato tem pouca ou nenhuma atividade herbicida ao entrar no solo e tem uma meia-vida relativamente pequena no solo sob condições de campo (LANGELUEDDEKE *et al.*, 1982).

Um benefício do uso de CRHs é que elas facilitam a adoção de sistemas agrícolas de preparo reduzido ou de plantio direto, que contribuem para a redução da erosão do solo causada pela água e vento, do uso de combustíveis fósseis, da poluição do ar pela poeira, da perda da umidade do solo e da compactação do solo (HOLLAND, 2004). Uma pesquisa realizada pela *American Soybean Association* (2001) estimou que 53% agricultores da soja dos EUA fizeram em média 1,8 menos passagens de grade aradora por ano em seus campos de soja desde que a soja resistente ao glifosato foi introduzida, o que se traduz numa economia de \$385 milhões por ano decorrente da redução de custos de cultivo. A maior parte dessa mudança foi associada ao cultivo de soja resistente ao glifosato (Figura 1).

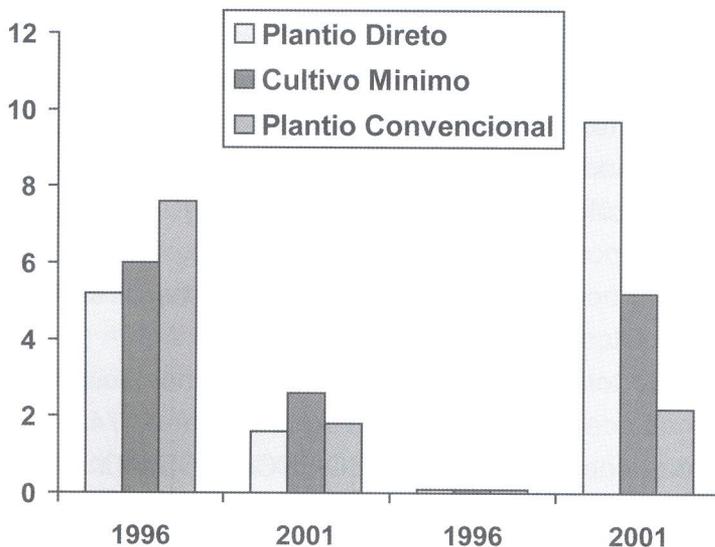


Figura 1. Sistemas de cultivo e soja transgênica resistente ao glifosato por hectares nos EUA entre 1996 e 2001 (Dados da *American Soybean Association*, 2001)

## EFEITOS EM MICROORGANISMOS

De modo geral, o glifosato tem pouco ou nenhum efeito na microflora do solo. Estudos realizados por Araujo *et al.* (2003) sobre o efeito do glifosato na atividade microbiana detectaram o metabólito do glifosato AMPA, o que indicava a degradação do glifosato pelos microorganismos do solo. Outros estudos (HANEY *et al.*, 2000; 2002) produziram dados que sugerem fortemente que o glifosato acarreta diretamente o aumento da atividade microbiana. O glifosato pareceu ser rapidamente degradado pelos microorganismos do solo, independentemente do tipo do solo ou do conteúdo de matéria orgânica, mesmo em taxas elevadas de aplicações, sem afetar de modo adverso a atividade microbiana.

O glifosato é translocado para nódulos da soja resistente ao glifosato (REDDY e ZABLOTOWICZ, 2003). Dunfield & Germida (2004) e Kowalchuk *et al.* (2003) enfatizaram que os efeitos das CRHs e de seu manejo nas mudanças das funções microbianas dependem do campo e da estação, e que o método de análise pode afetar os resultados. Eles destacam que as

alterações nas comunidades microbianas associadas às CRHs são mais variáveis e passageiras quando comparadas àquelas causadas por outras práticas agrícolas tais como rotação de culturas, preparo da terra, uso de outros herbicidas determinados e irrigação. Até o presente momento, aparentemente não existem efeitos danosos aos microorganismos do solo causados pelo uso de glifosato e glufosinato em seus níveis recomendados.

## EFEITOS NA ÁGUA

Tanto o glifosato quanto o glufosinato são fortemente adsorvidos às partículas do solo e, mesmo que ambos sejam altamente solúveis na água, eles não lixiviam às águas subterrâneas. Vários estudos demonstraram que o glifosato contamina a água superficial menos do que inúmeros outros herbicidas alternativos (resumido por CARPENTER *et al.*, 2002). Uma vez na água da superfície, o glifosato é dissipado mais rapidamente do que a maioria dos outros herbicidas (WAUCHOPE *et al.*, 2002; SOLOMON & THOMPSON, 2003; PETERSON & HULTING, 2004; BENNETT *et al.*, 2004).

## EFEITOS EM DOENÇAS DE PLANTAS

Existem relatos tanto de aumento quanto de redução da severidade de doenças em culturas resistentes ao glifosato (DUKE *et al.*, 2007). Recentemente, foi constatado que o glifosato tem ambas as propriedades preventiva e curativa da ferrugem tanto no trigo quanto na soja resistente ao glifosato (ANDERSON & KOLMER, 2005; FENG *et al.*, 2005).

Por outro lado, plantas daninhas mortas ou que estão morrendo podem fornecer um bom microambiente para patógenos de plantas. Smiley *et al.* (1992) descobriram que a incidência de podridão de raízes (*Rhizoctonia*) era mais severa e a produção menor quando os intervalos entre o tratamento com glifosato e o plantio eram curtos, o que foi atribuído à maior disponibilidade de nutrientes provenientes de plantas daninhas moribundas para as populações de patógenos. Contudo, ainda não foi adequadamente estudado se o glifosato exsudado pelas raízes na rizosfera interfere nas relações entre microorganismos benéficos e patogênicos sob determinadas circunstâncias.

Até o ponto em que se tem conhecimento, os efeitos do glufosinato nas doenças de plantas são decorrentes de efeitos fungitóxicos diretos. O glufosinato é um herbicida não seletivo; logo, seus efeitos no patógeno são mais facilmente percebidos em culturas resistentes ao glufosinato. O glufosinato tem atividade antimicrobiana na soja (PLINE et al., 2001), arroz (UCHIMIYA et al., 1993) e grama bentgrass (LIU et al., 1998; WANG et al., 2003) resistentes ao glufosinato, protegendo essas culturas de doenças fúngicas e bacterianas. Os efeitos nos patógenos fúngicos podem ocorrer mediante a eliminação do esporo ou o impedimento de sua germinação, conforme identificado com os efeitos do glifosato na viabilidade dos esporos de *Phomopsis amaranthicolca* (WYSS et al., 2004)

Em resumo, há casos nos quais o herbicida ou a CRH por si só podem influenciar patógenos de plantas de forma tanto negativa quanto positiva. No entanto, a maioria dos dados sugere que a combinação entre herbicida/CRH para glufosinato e glifosato pode estar propiciando alguma redução nas doenças. Muito mais trabalho há de ser feito para estudar esses efeitos a fim de que se possa utilizar melhor as CRHs no manejo integrado de pragas.

## **EFEITOS EM INSETOS, PÁSSAROS E VIDA SELVAGEM**

Nenhum efeito direto do uso do glifosato no campo em doses recomendadas foi documentado em vertebrados artrópodes. O glufosinato pode ser tóxico para os insetos (KUTLESA & CAVENEY, 2001; VOLKMAR et al., 2003). Um efeito indireto do herbicida, por meio de efeitos nas composições e densidades das espécies de pragas, é mais provável (JACKSON & PITRE, 2004).

## **EFEITOS EM PLANTAS DANINHAS**

Apesar do glifosato e do glufosinato serem herbicidas não seletivos e de amplo espectro, eles não podem controlar todas as espécies ou biotipos de plantas em doses recomendadas. Deste modo, espécies ou biotipos de plantas daninhas com altos níveis de resistência natural podem preencher

os nichos ecológicos vagos no ecossistema agrônomico nos sistemas de cultivo de CRHs. As plantas daninhas podem desenvolver resistência a herbicidas, especialmente quando esses são utilizados ano após ano. Talvez os problemas mais importantes com as CRHs sejam as plantas daninhas resistentes e as culturas voluntárias. Várias espécies de plantas daninhas desenvolveram resistência ao glifosato (VIDAL et al., 2007, POWLES & PRESTON, 2006) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Casos de plantas daninhas que se tornaram resistentes ao glifosato (Heap 2007)

Espécies	Local	Detecção (ano)
<i>Amaranthus palmeri</i> *	EUA	2005
<i>Amaranthus rudis</i> *	EUA	2005
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> *	EUA	2004
<i>Conyza bonariensis</i> *	África, Espanha e Brasil	2003
<i>Conyza canadensis</i> *	EUA e Brasil	2000
<i>Eleusine indica</i>	Malásia	1997
<i>Euphorbia heterophylla</i> *	Brasil	2005
<i>Lolium multiflorum</i> *	Chile, Brasil e EUA	2001
<i>Lolium rigidum</i>	Austrália, USA e África	1996
<i>Plantago lanceolata</i>	África	2003
<i>Sorghum halepense</i> *	Argentina	2005

\* Biotipos com resistência induzida em soja.

Outras espécies de plantas daninhas são naturalmente resistentes ao glifosato e se tornaram ou são capazes de se tornar problemas em culturas resistentes ao glifosato (CRGs) que são cultivadas de maneira contínua. O controle de plantas daninhas naturalmente resistentes é um problema potencial importante com as CRGs. As espécies de plantas daninhas naturalmente resistentes ao glifosato incluem *Amaranthus rudis*, *Amaranthus tuberculatus*, *Chamaesyce hirt*, *Chenopodium album*, *Chloris polydactyla*, *Commelina benghalensis*, *Commelia communis*, *Cyperus* spp, *Dicliptera chinensis*, *Ipomoea* spp, *Lotus corniculatus*, *Richardia brasiliensis*, *Sesbania exaltata*, *Spermacoce latifolia*, *Synedrellopsis grisebachii*, e *Tridax*

*procumbens* (NANDULA et al., 2005; PATZOLDT et al., 2002, SHANER, 2000)

Com o uso extensivo continuado de culturas resistentes ao glifosato, espera-se que surjam mais casos de plantas daninhas com resistência desenvolvida ao glifosato. Há uma tendência entre os agricultores de aumentar os níveis de herbicidas para vencer a resistência das plantas daninhas, o que pode exacerbar o dano causado à cultura que algumas vezes é identificado nas culturas resistentes ao glifosato (PLINE-SRNIC, 2005). Nenhuma resistência ao glufosinato foi desenvolvida nas plantas daninhas.

## **CULTURAS VOLUNTÁRIAS**

A tecnologia de CRH pode contribuir para as próprias CRHs atuais, fazendo com que elas se tornem um problema maior como culturas voluntárias ou selvagens. A maioria das plantas domésticas não persistem num ecossistema natural, mas elas podem ser um problema nos campos agrícolas quando se faz a rotação de culturas, especialmente se elas forem resistentes ao(s) herbicida(s) utilizado(s) com a cultura seguinte. Este problema pode ser exacerbado com as CRHs se duas culturas utilizadas na rotação se tornarem resistentes ao mesmo herbicida (YORK *et al.*, 2004).

## **FLUXO GÊNICO PARA PLANTAS DANINHAS**

Para que haja movimento completo de um gene ou genes para outra população, vários retrocruzamentos são necessários. Os híbridos entre espécies ou entre culturas e variantes daninhas da cultura normalmente são inviáveis/inférteis (LEFOL *et al.*, 1996; SCHEFFLER & DALE, 1994). Não há casos comprovados de introgressão completa de gene(s) de resistência a herbicida de uma cultura naturalmente resistente para uma planta daninha associada.

Todavia, nós vemos a introgressão de transgênicos em parentes silvestres como sendo o maior risco de qualquer cultura transgênica, a medida que o resgate dos genes errantes seria essencialmente impossível, uma

vez concluída a introgressão. Os transgênicos de resistência a herbicidas não deveriam apresentar nenhuma ameaça aos ecossistemas naturais, mas quando combinados com transgênicos transmissores de características que possam aumentar a viabilidade (exemplo resistência á insetos), a característica de resistência a herbicida pode assistir na introgressão no ecossistema agrícola, eventualmente resultando em espécies selvagens com novas características que podem alterar as interações de espécies num ecossistema natural. Desse modo, o desenvolvimento de tecnologias de “*fail safe*” para prevenir a introgressão de transgênicos deveria ser uma área de alta prioridade para pesquisas futuras.

## **FLUXO GÊNICO PARA CULTURAS NÃO-TRANSGÊNICAS**

O fluxo gênico para culturas não transgênicas da mesma espécie é muito mais provável do que o cruzamento com outras espécies. As culturas não-transgênicas que são contaminadas com transgênicos podem não ser aceitas por alguns mercados, dependendo do grau de contaminação e do mercado. Para algumas culturas como a soja, por exemplo, o cruzamento com outras espécies não é considerado um problema significativo, mas para o arroz, milho e canola, cruzamentos consideráveis com outras espécies podem ocorrer.

No Canadá, o fluxo gênico entre campos de canola resistentes ao bromoxynil, glufosinato e glifosato e canola não transgênica resultou na presença de transgênicos de resistência a herbicidas de várias combinações em campos onde se esperava que houvesse apenas canola não transgênica (HALL, 2000). O fluxo gênico entre canola transgênica e não-transgênica pode ser substancial (RIEGER *et al.*, 2002).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No contexto dos herbicidas e das práticas agrícolas substituídas, os benefícios à saúde e ao meio ambiente das combinações que têm sido utilizadas entre herbicidas e CRHs são significativos. Os únicos herbicidas atualmente utilizados com CRHs – glifosato e glufosinato – são mais

benignos ambiental e toxicologicamente do que muitos dos herbicidas que eles substituem. Seus efeitos na contaminação do solo, ar e água e em organismos não-alvo são relativamente pequenos. A erosão do solo causa danos ambientais de longos prazos. Por serem herbicidas de amplo espectro, aplicados nas folhas e com pouca ou nenhuma atividade no solo, o glifosato e o glufosinato são altamente compatíveis com a agricultura de preparo reduzido ou plantio direto e têm contribuído para a adoção dessas práticas no hemisfério ocidental. Esta contribuição das CRHs para a qualidade ambiental talvez seja a sua contribuição mais significativa.

Todos os riscos potenciais que nós discutimos acima são reversíveis (mesmo aquele da erosão do solo, em que pese o seja de forma bastante lenta) e são na maioria dos casos não exclusivos de culturas transgênicas, com exceção daqueles associados ao fluxo de transgenes para espécies de plantas silvestres. Espera-se que pouco ou nenhum impacto ou risco de um transgênico de CRH ocorra se ele introgridir nas populações silvestres, uma vez que sua adaptabilidade é neutra na ausência do herbicida. No entanto, quando o transgênico de CRH é ligado a genes que possam proporcionar uma vantagem adaptativa em um habitat natural, a introgressão pode ser auxiliada pela eliminação pelo herbicida de plantas competidoras do híbrido. A longo prazo, esse poderia ser o maior risco das CRHs.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. St. Louis: Conservation Tillage Study American Soybean Association, 2001. Disponível em:<[http://www.soygrowers.com/ctstudy/ctstudy\\_files/frame.htm](http://www.soygrowers.com/ctstudy/ctstudy_files/frame.htm)>. Acesso em: 29 jan. 2009.

ANDERSON J.A; KOLMER, JA. Rust control in glyphosate tolerant wheat following application of the herbicide glyphosate. *Plant Diseases*, v. 89, p. 1136-1142, 2005.

ARAUJO, AS; MONTEIRO, RT; ABARKELI, RB. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. *Chemosphere*, v. 52, p. 799-804, 2003.

BENNETT, R; PHIPPS, R; STRANGE, A; GREY, P. Environmental and human health impacts of growing genetically modified herbicide-tolerant sugar beet: a life-cycle assessment. *Plant Biotechnology Journal*, v. 2, p. 273-278, 2004.

BROOKES, G; BARFOOT P. Global impact of biotech crops: Socio-economic and environmental effects in the first ten years of commercial use. *AgBioForum*, v. 9, p.139-151, 2006.

CARPENTER, J; FELSOT, A; GOODE, T; HAMMIG, M; ONSTAD, D; SANKULA, S. Comparative Environmental Impacts of Biotechnology-Derived and Traditional. Ames: Soybean Corn and Cotton Crops, 2002.

CERDEIRA, A.L.; DUKE, S.O. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: a review. *Journal of Environmental Quality*, v. 35, p. 1633-1658, 2006.

CLIFF, J. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Itaca, NY. 2006. Disponível em: <<http://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/>. Acesso em: 28 jan. 2009.

DILL G. Glyphosate-resistant crops: History status and future. *Pest Management Science*, 6, p. 216-24, 2005.

DUKE, SO. *Herbicide-Resistant Crops*. Boca Raton: CRC Press; 1996.

DUKE, SO. *Herbicide-resistant crops*. In: PIMENTEL E. *Encyclopedia of pest management*. New York: Marcel Dekker; 2002. p. 358-60.

DUKE, SO. Taking stock of herbicide-resistant crops ten years after introduction. *Pest Management Science*, v. 61, p. 211-218, 2005.

DUKE, SO; CERDEIRA, AL. Potential environmental impacts of herbicide-resistant crops. In: INTERNATIONAL CENTRE FOR GENETIC ENGINEERING AND BIOTECHNOLOGY. *Collection of biosafety reviews*. Trieste, 2005. v. 2, p. 67-143.

DUKE, S.O; CERDEIRA, A.L. Risks and benefits of glyphosate-resistant crops. *Agricultural and Environmental Biotechnology News Report* , jan. 2007. p.1-5.

DUKE, SO; WEDGE, DE; CERDEIRA, AL; MATALLO, MB. Herbicide effects on plant diseases. *Outlooks on Pest Management*, v. 18, p. 36-40, 2007.

DUNFIELD, KE; GERMIDA, JJ. Impact of genetically modified crops on soil- and plant-associated microbial communities. *Journal of Environmental Quality*, v. 33, p. 806-815, 2004.

ECONOMIC RESEARCH SERVICE. *Adoption of Genetically Engineered Crops in the U.S.* Washington: Department of Agriculture, 2006. Disponível em: <from:http://www.ers.usda.gov/data/BiotechCrops/>. Acesso em: 28 jan. 2009.

FENG, PCC; BALEY, GJ; CLINTON, WP; BUNKERS, GJ; ALIBHAI, MF; PAULITZ, TC; KIDWELL, KK. Glyphosate inhibits rust diseases in glyphosate-resistant wheat and soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 48, p. 17290-17295, 2005.

FRANZ, JE; MAO, MK; SIKORSKI, JA. *Glyphosate: a Unique Global Herbicide*. Washington: American Chemical Society, 1997.

GIANESSI, LP. Economic and herbicide use impacts of glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science*, v. 61, p. 241-45, 2005.

GRESSEL, J. Transgenic herbicide-resistant crops - advantages drawbacks and failsafes. In: OKSMAN-CALDENTY, K-M; BARZ, WH (ed.). *Plant Biotechnology and Transgenic Plants*. New York: Marcel Dekker, 2002b. p. 596-633.

GUTTERSON, N; ZHANG, JZ. Genomics applications to biotech traits: a revolution I progress. *Current Opinion in Plant Science*, v. 7, p. 226-230, 2004.

HALL, L; TOPINKA, K; HUFFMAN, J; DAVIS, L; GOOD, A. Pollen flow between herbicide-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Science*, v. 48, p. 688-694, 2000.

HANEY, RL; SENSEMAN, SA; HONS, FM; ZUBERER, DA. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed Science*, v. 48, p. 89-93, 2000.

HANEY, RL; SENSEMAN, SA; HONS, FM. Effect of Roundup Ultra on microbial activity and biomass from selected soils. *Journal of Environmental Quality*, v. 31, p. 730-735, 2002.

HEAP, I; DINICOLA, N; GLASGOW, L. International Survey of Herbicide-Resistant Weeds. 2007. Available in: <http://www.weedscience.org/in.asp>. Access in: Feb. 28 2008.

HOLLAND, JM. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 103, p.1-25, 2004.

JACKSON, RE; PITRE, HN. Influence of Roundup Ready soybean production systems and glyphosate application on pest and beneficial insects in narrow-row soybean. *Journal of Entomological Science*, v. 39, p. 62-70, 2004.

- KLETER, GA; KUIPER, HA. Environmental fate and impact considerations related to the use of transgenic crops. In: VOSS, G; RAMOS, G. (ed.). *Chemistry of Plant Protection*. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. p. 304-321.
- KOWALCHUK, GA; BRUINSMA, M; VAN VEEN, JA. Assessing responses of soil microorganisms to GM plants. *Trends in Ecology and Evolution*, v.18, p.403-410, 2003.
- KUTLESA, NJ; CAVENEY, S. Insecticidal activity of glufosinate through glutamine depletion in a caterpillar. *Pest Management Science*, v. 57, p. 25-32, 2001.
- LANGELUEDDEKE, P; REUSS, HU; CECONI, C; MANNING, TH; ROETTELE, M. Glufosinate (HOE 39866), a new non-selective contact herbicide: results of several years' experimentation in orchards and vineyards from different European countries. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen*, Universiteit Gent, v. 47, n. 1, p.95-104, 1982.
- LEFOL, E; FLEURY, A; DARMENCY, H. Gene dispersal from transgenic crops. II. Hybridization between oilseed rape and the wild hoary mustard. *Sexual Plant Reproduction*; v. 9, p.189-196, 1996.
- LIU, C-H; ZHONG, H; VARGAS, J; PENNER, D; STICKLEN, M. Prevention of fungal diseases in transgenic bialaphos- and glufosinate-resistant creeping bentgrass (*Agrostis palustris*). *Weed Science*, v. 46, p. 139-146, 1998.
- MCLEAN, GD; EVANS, G. (Ed.). *Herbicide-Resistant Crops and Pastures in Australian Farming Systems*. Bureau of Resource Sciences. Australia: Parkes, ACT, 1995.
- MEYER, H; WOLTERS, V. Ecological effects of the use of broad-spectrum herbicides in herbicide-resistant transgenic crops. *Verhandlungen Gesellschaft Oekologie*, v. 28, p. 337-344, 1998.
- NANDULA, VK; REDD, YKN; DUKE, SO; POSTON, DH. Glyphosate-resistant weeds: Current status and future outlook. *Outlooks on Pest Management*, v. 16, p.183-187, 2005.
- NELSON, D. S.; BULLOCK, G. C. Simulating a relative environmental effect of glyphosate-resistant soybeans. *Ecological Economics*, v. 45, p.189-202, 2003.
- PATZOLDT, WL; TRANEL, PJ; HAGER, AG. Variable herbicide responses among Illinois waterhemp (*Amaranthus rudis* and *A. tuberculatus*) populations. *Crop Protection*, v. 21, p. 707-712, 2002.

PENNA, J. A; LEMA D.. Adoption of herbicide tolerant soybeans in Argentina: An economic analysis. In: KALAITZANDONAKES, N. (ed.). *Economic and Environmental Impacts of Agrotechnology*. New York: Kluwer-Plenum, 2003. p. 203-20.

PETERSON, RKD; HULTING, AG. A comparative ecological risk assessment for herbicides used on spring wheat: The effect of glyphosate when used within a glyphosate-tolerant wheat system. *Weed Science* 2004;52:834-44.

PLINE, WA; LACY, GH; STROMBERG, V; HATZIOS, KK. Antibacterial activity of the herbicide glufosinate on *Pseudomonas syringae* Pathovar *Glycinea*. *Pesticide, Biochemistry and Physiology*, v. 71, p. 48-55, 2001.

PLINE-SRNIC, W. Technical performance of some commercial glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science*, v. 61, p. 225-234, 2005.

POWLES, S.B.; PRESTON, C. Evolved glyphosate resistance in plants: Biochemical and genetic basis of resistance. *Weed Technology*, v. 20, p. 282-292, 2006.

REDDY, KN; ZABLOTOWICZ, RM. Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean nodules. *Weed Science*, v. 51, p. 496-502, 2003.

RIEGER, MA; LAMOND, M; PRESTON, C; POWLES, SB; ROUSH, RT. Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. *Science*, v. 296, p. 2386-2388, 2002.

SCHEFFLER, JS; DALE, PJ. Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgenic Research*, v. 3, p. 263-278, 1994.

SHANER, DL. The impact of glyphosate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. *Plant Management Science*, v. 56, p. 320-326, 2000.

SILVERS, CS; GIANESSI, LP; CARPENTER, JE; SANKULA, S. Current and potential role of transgenic crops in U.S. agriculture. *Journal of Crop Production*, v. 9, p. 501-530, 2003.

SMILEY, RW; OGG, AG; COOK, RJ. Influence of glyphosate on *Rhizoctonia* root rot growth and yield. *Plant Disease*, v. 76, p. 937-942, 1992.

SOLOMON, KR; THOMPSON, DG. Ecological risk assessment for aquatic organisms from over-water uses of glyphosate. *Journal of Toxicology and Environmental Health B Critical Reviews*, v. 6, p. 289-324, 2003.

UCHIMIYA, H; IWATA, M; NOJIRI, C; SAMARAJEEWA, PK; TAKAMATSU, S; Ooba S, ANZAI H, CHRISTENSEN PH, QUAIL PH, TOKI S. Bialoaphos treatment of transgenic rice plants expressing the bar gene prevents infection by the sheath blight pathogen (*Rhizoctonia solani*). *Bio/Biotechnology*, v.11, p. 835-836, 1993.

VIDAL, R.A.; DE PRADO, R.; RUIZ-SANTAELLA, J.P.; VILLA-AYUB, M.; DE-LA-VEGA, M. Glyphosate resistant weeds in South America: an historic perspective. In: 2007 Weed Science Society of America Annual Meeting, San Antonio, Texas, USA, Feb. 4-8; Weed Science Society of America: Lawrence, Kansas, USA, 2007; Presentation Number 113.

VOLKMAR, C; LÜBKE, AL; HUSSEIN, M; JANY, D; HUNOLD, I; RICHTER, L; KREUTER, T; WETZEL, T. Ecological studies on epigeous arthropod populations of transgenic sugar beet at Friemar (Thuringia Germany). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 95, p. 37-47, 2003.

WANG, Y; BROWNING, M; RUEMMELE, BA; CHANDLEE, JM; KAUSCH, AP; JACKSON, N. Glufosinate reduces fungal diseases in transgenic glufosinate-resistant bentgrasses (*Agrostis* spp.). *Weed Science*, v. 51, p. 130-137, 2003.

WAUCHOPE, RD; ESTES, TL; ALLEN, R; BAKER, JL; HORNSBY, AG; JONES, RL; RICHARDS, RP; GUSTAFSON, DI. Predicted impact of transgenic herbicide-tolerant corn on drinking water quality in vulnerable watersheds of the mid-western USA. *Pest Management Science*, v. 58, p.146-160, 2002.

WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. *Herbicide Handbook*. 8<sup>th</sup> ed. . Lawrence, KS, 2002.

WYSS, GS; CHARUDATTAN, R; ROSSKOPF, EN; LITTELL, RC. Effects of selected pesticides and adjuvants on germination and vegetative growth of *Phomopsis amaranthicola* a biocontrol agent for *Amaranthus* spp. *Weed Research*, v. 44, p. 469-482, 2004.

YORK, AC; STEWARD, AM; VIDRINE, PR; CULPEPPER, AS. Control of volunteer glyphosate-resistant cotton in glyphosate-resistant soybean. *Weed Technology*, v. 18, p. 532-539, 2004.