

Biossegurança Ambiental de OGMs





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-5111

Outubro, 2006

Documentos 168

Biossegurança Ambiental de OGMs

Solange Rocha Monteiro de Andrade

Planaltina, DF
2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*
Jaime Arbués Carneiro

1ª edição

1ª impressão (2006): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.
Embrapa Cerrados.

A553b Andrade, Solange Rocha Monteiro de.

Biossegurança ambiental de OGMs / Solange Rocha Monteiro de

Andrade. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006.

32 p. — (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 168)

1. Biotecnologia. 2. Planta transgênica. 3. Engenharia genética.

I. Título. II. Série.

631.5233 - CDD 21

© Embrapa 2006

Autores

Solange Rocha Monteiro de Andrade

Biól., D.Sc.

Embrapa Cerrados

solange@cpac.embrapa.br

Apresentação

Após 10 anos de seu lançamento, os organismos geneticamente modificados (OGMs), também conhecidos como transgênicos, já fazem parte do nosso dia-a-dia. Atualmente, os plantios comerciais variam desde a soja resistente a herbicidas e o milho resistente a insetos, a variedades com ambas as características. Essas variedades estão sendo plantadas em 21 países, distribuídos pela América do Sul, inclusive no Brasil, América do Norte, Europa, Oceania e Ásia, principalmente na China e Índia.

O aumento no plantio dessas variedades é constante e crescente, embora ainda persistam algumas dúvidas a respeito da segurança alimentar e ambiental desses OGMs. A facilidade no manejo dessas variedades - e, conseqüentemente, o menor custo para os agricultores - tem sido apontada como o principal motivo desse crescimento. Ademais, a necessidade de aumentar a produção de alimentos com baixo impacto ambiental tem sido responsável pela reconsideração dos OGMs como uma possibilidade real de produção sustentável de alimento.

Este trabalho tem como objetivo destacar os principais referentes à biossegurança ambiental de OGMs. Avaliaram-se os prós e os contras das atuais tecnologias disponíveis e utilizadas. Não se pretende com este trabalho esgotar o assunto. Esses conhecimentos estão sendo adquiridos com o tempo em função dos resultados não esperados e de novos cenários que estão sendo desenhados em virtude do aquecimento global e do aumento no consumo de alimentos.

Roberto Teixeira Alves
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução	9
Breve histórico do plantio de transgênicos no mundo	10
Biossegurança de OGMs	13
Preocupações com os efeitos dos OGMs no ambiente	15
Risco de desenvolvimento de “super” plantas daninhas	16
Desenvolvimento de resistência pelo uso intensivo da tecnologia	17
Resistência por fluxo gênico	21
Efeito em espécies não-alvo e benéficas	23
<i>Caso da borboleta monarca</i>	24
Impactos nos sistemas de produção vegetal	25
Considerações finais	27
Referências	28
Abstract	34

Biossegurança Ambiental de OGMs

Solange Rocha Monteiro de Andrade

Introdução

A produção de alimentos suficientes para suprir a população humana e animal tem sido um desafio desde que o homem deixou de ser nômade e se estabeleceu em pequenos sítios, até os dias atuais, nos quais a população urbana depende da produção rural.

O processo de sedentarismo iniciou-se com a escolha das espécies mais atrativas para a alimentação humana, seguida da domesticação das mesmas. O aprimoramento das espécies ocorreu por métodos empíricos por meio da observação, seleção e cruzamento das mais produtivas e saborosas, chegando, finalmente, ao desenvolvimento de métodos de melhoramento genético e de tecnologias de manejo visando à maior produtividade, ou seja, maior produção em menor área. Atualmente, além da produção em larga escala, também precisamos nos preocupar com a qualidade do alimento que produzimos e com a preservação do ambiente. Na busca de alternativas para uma agricultura sustentável, têm-se discutido várias possibilidades para a produção de alimentos em quantidade e com qualidade, mas sem degradar o ambiente. Os sistemas propostos atualmente variam desde a produção de alimentos utilizando agricultura orgânica, e outras consideradas agroecológicas, passando por diferentes tipos de manejo e sistemas integrados de produção, até a utilização de técnicas de engenharia genética como ferramenta para apoiar o melhoramento genético. Todas essas possibilidades têm seu mérito, e pelo uso integrado delas poderemos, no futuro, produzir alimentos em quantidade suficiente para

sustentar toda a população mundial com, o mínimo de efeito ambiental e com alta qualidade nutricional. Este trabalho visa discutir a biossegurança ambiental de plantas geneticamente modificadas e suas possibilidades de utilização como alternativa para uma agricultura mais amigável ao ambiente.

Breve histórico do plantio de transgênicos no mundo

O plantio comercial de transgênicos iniciou-se na China nos primórdios da década de 1990, com o plantio do tabaco resistente a vírus-do-mosaico-do-pepino ("*Cucumber mosaic virus*", CMV) em 1992, seguido pelo lançamento comercial do tomate resistente ao mesmo vírus. Somente em 1994, os EUA iniciaram a comercialização do tomate transgênico da Calgene, conhecido como tomate longa vida ([JAMES, 1997](#)).

Em 1996, seis países cultivavam comercialmente diferentes culturas de OGMs: EUA (51 %), China (35 %), Canadá (4 %), Argentina (4 %), Austrália (1 %) e México (1 %). O plantio ocupou 2,8 milhões de hectares, e as culturas estavam distribuídas da seguinte maneira: tabaco (35 %), algodão (27 %), soja (18 %), milho (10 %), canola (5 %), tomate (4 %) e batata (>1 %). A resistência a vírus era a principal característica inserida (40 %), seguida da resistência a insetos (37 %), tolerância a herbicida (32 %) e qualidade do alimento (1 %). Considerando os países que comercializavam OGMs, 57 % eram industrializados e 43 % em desenvolvimento ([JAMES, 1997](#)).

O ano de 2005 marcou o décimo aniversário da comercialização de transgênicos com 90 milhões de hectares plantados por 8,5 milhões de produtores em 21 países. Irã e República Tcheca plantaram pela primeira vez, e França e Portugal retomaram o plantio após 4 e 5 anos de moratória, respectivamente. Dos 21 países que atualmente cultivam OGMs, 11 estão em desenvolvimento e 10 são industrializados ([Tabela 1](#)). EUA (55 %), Argentina (19 %), Brasil (10 %), Canadá (4 %) e China (4 %) são os principais produtores, sendo responsáveis por 92 % da área global de transgênicos ([JAMES, 2005](#)). O Brasil, que em 2004 havia liberado a comercialização de soja transgênica, apresentou em 2005 o maior crescimento de área plantada no mundo ([JAMES, 2005](#)).

Durante essa primeira década, a resistência a herbicida foi a característica dominante, seguida por resistência a insetos. No entanto, está havendo um crescimento do cultivo de espécies contendo ambas as características ([Fig. 1](#)).

As principais culturas de OGMs cultivadas atualmente no mundo são soja (60 %), milho (24 %), algodão (9,8 %) e canola (5 %), sendo que as principais características introduzidas são a tolerância a herbicidas (71%), resistência a insetos (18 %) e ambas as características, ou genes “stack” (11 %) (JAMES, 2005). Comparando a área plantada em 2005, verificamos que 60 % da soja, 28 % do algodão, 18 % da canola e 14 % do milho eram transgênicos (JAMES, 2005).

Tabela 1. Área Global de transgênicos em 2005, por país (milhões de hectare).

Posição	País	Área	Lavoura GM
1 °	EUA	49,8	Soja, milho, algodão, canola, abóbora, papaia
2 °	Argentina	17,1	Soja, milho, soja
3 °	Brasil	9,4	Soja
4 °	Canadá	3,3	Canola, milho, soja
5 °	China	3,3	Algodão
6 °	Paraguai	1,8	Soja
7 °	Índia	1,3	Algodão
8 °	África do Sul	0,5	Milho, soja, algodão
9 °	Uruguai	0,3	Soja, milho
10 °	Austrália	0,3	Algodão
11 °	México	0,1	Algodão, soja
12 °	Romênia	0,1	Soja
13 °	Filipinas	0,1	Milho
14 °	Espanha	0,1	Milho
15 °	Colômbia	< 0,1	Algodão
16 °	Irã	< 0,1	Arroz
17 °	Honduras	< 0,1	Milho
18 °	Portugal	< 0,1	Milho
19 °	Alemanha	< 0,1	Milho
20 °	França	< 0,1	Milho
21 °	República Tcheca	< 0,1	Milho

Fonte: Adaptado de Clive James, 2005

Em 2006, primeiro ano da segunda década de comercialização de transgênicos, ultrapassa a marca dos 10 milhões de produtores e dos 100 milhões de hectares cultivados (Fig. 2). Desses produtores, 9,3 milhões (90 %) eram pequenos agricultores, de recursos escassos, plantando principalmente o algodão Bt em países em desenvolvimento. A Eslováquia planta o milho transgênico pela primeira vez, chegando a 22 países com cultivos comerciais, sendo que seis países pertencem a comunidade européia, com a Espanha assumindo a liderança. A distribuição dos plantios passou a 50 % de países industrializados e 50 % em desenvolvimento. As culturas contendo características combinadas cresceram 30 % em relação a 2005. No entanto, a tolerância a herbicidas continua respondendo por 68 % do plantio de OGMs, seguido por 19 % para as culturas Bt e 13 % para culturas contendo ambas as características (Fig. 1) (JAMES, 2006; SANVIDO et al., 2006).

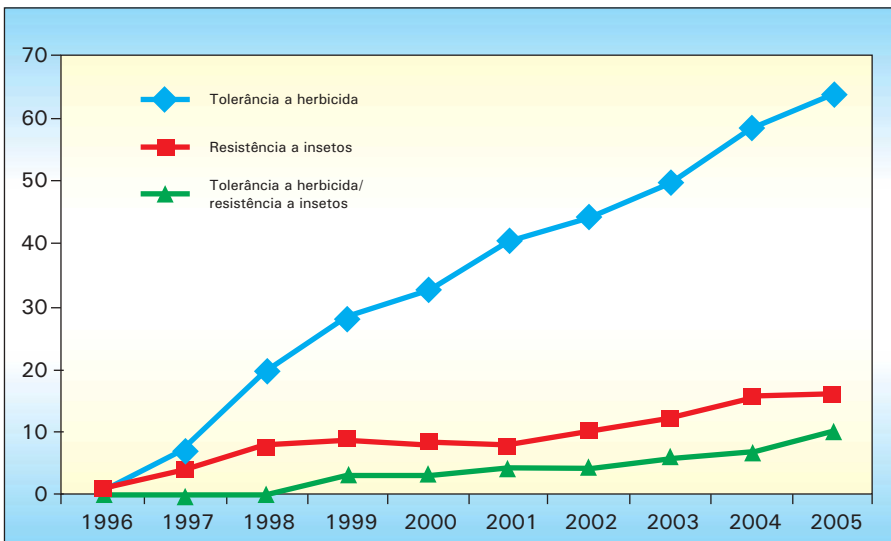


Fig. 1. Área global de distribuição de OGMs por trato cultural (milhões de hectares), 1996 a 2005 (Adaptado de JAMES, 2005).

Fonte: Adaptado de James, 2005.

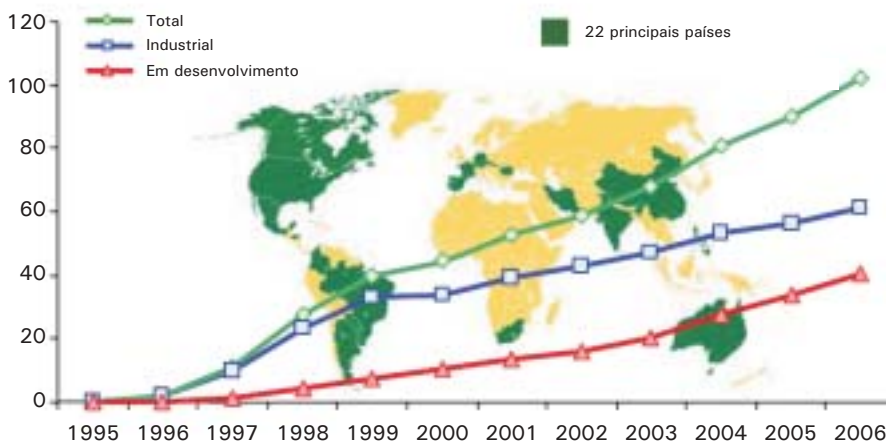


Fig. 2. Área global em milhões de hectares de lavouras transgênicas de 1995 a 2006

Fonte: Adaptado de [James, 2006](#).

Biossegurança de OGMs

A preocupação sobre a segurança de OGMs surgiu logo no início de sua utilização, quando, na década de 1970, [Cohen et al. \(1972\)](#) obtiveram a transferência do gene de resistência múltipla a antibióticos para a bactéria *Escherichia coli*. Na mesma época, [Jackson et al. \(1972\)](#) criaram uma molécula híbrida de DNA contendo o genoma completo do Vírus Simia 40 e um segmento de DNA responsável pelo metabolismo da galactose em *Escherichia coli*. A comunidade científica mundial ficou alerta com as possibilidades ilimitadas que as novas ferramentas estavam trazendo e seus imprevisíveis impactos na saúde humana e ambiental. Assim, de maneira espontânea, houve praticamente uma moratória à utilização das ferramentas de engenharia genética, até que houvesse mecanismos adequados para aferir a segurança dessas técnicas para a saúde humana e ambiental. Em 1974, como consequência dessas preocupações, ocorreu a *Conferência de Asilomar sobre a Tecnologia de DNA Recombinante*, onde foram discutidos os critérios de segurança, principalmente barreiras biológicas e físicas, para os experimentos com OGMs, bem como os critérios éticos para regular esses experimentos, além de recomendações para o controle de descartes de material e padronização da metodologia ([BERG et al., 1975](#); [BERG, 2004](#)). A partir desse momento, diversos organismos internacionais discutiram e desenvolveram regras de biossegurança, que tem como fundamento básico assegurar o avanço dos processos tecnológicos e proteger a saúde humana, animal e ambiental.

Um dos momentos importantes relevantes dessas discussões ocorreu em 1992, quando, por iniciativa da ONU, houve a *Convenção de Diversidade Biológica* (CBD), que ficou conhecida como ECO-92. A convenção requereu que todos os países signatários tomassem medidas para preservar a diversidade das espécies nativas e cultivadas, considerando o valor intrínseco dessas espécies como material para desenvolver um novo produto de interesse econômico. Assim, nessa convenção, foi reconhecida a soberania de cada país sobre seus recursos genéticos ([BRAUN; AMMAN, 2002](#)).

Nos artigos 16 e 19, dedicados à biotecnologia, é requerida uma divisão justa e equitativa dos benefícios gerados pelo uso dos recursos genéticos. Isso inclui meios de prover facilidades e financiamento para a transferência de tecnologias e acesso aberto às informações e técnicas científicas. A soberania sob os recursos genéticos significa que ninguém pode remover espécies vegetais, animais ou microrganismos de um país sem o prévio consentimento do mesmo ([BORÉM, 2005](#)).

O artigo 15 se refere ao Princípio da Precaução: *“Com o fim de proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deverá ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental”* ([MYHR; TRACAVICK, 2002](#)).

Assim, a preocupação com o risco, principalmente em mantê-lo dentro de um grau de segurança aceitável, levou a comunidade internacional a adotar gradativamente o Princípio da Precaução como princípio ético orientador e jurídico motivador da ação humana. Com isso, a determinação do nível de risco aceitável é uma responsabilidade científica e política, sendo avaliado caso a caso e por cada país ([MINARÉ, 2005](#)).

Em 2000, um novo encontro na Venezuela estabeleceu as bases para a normatização internacional do desenvolvimento dos OGMs, principalmente no que tange ao movimento desses organismos vivos entre países. O *Protocolo de Cartagena*, como ficou conhecido, regulamenta a transferência, manipulação e uso de OGMs que podem ter efeito na biodiversidade e saúde humana e, fazendo referência explícita ao princípio da precaução, considerando-o como princípio guia para transferência de OGMs em situações consideradas de

potencial risco de redução ou perda da biodiversidade. Assim, quando houver ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. Nesses casos, os países devem adotar procedimentos para prevenir e evitar esses danos ([BORÉM 2005](#); [MYHR e TRAAVIK, 2002](#); [BRAUN](#); [AMMAN, 2002](#)).

O protocolo foi ratificado por 50 países em 2002 e, desde essa época, está sendo utilizado como alicerce para o desenvolvimento das bases legais e administrativas de biossegurança em diversos países ([UNITED NATIONS ENVIRONMENTS PROGRAMME, 2003](#)). Assim, resumidamente, a biossegurança de OGMs estuda os impactos dessas tecnologias por meio de leis, procedimentos e diretivas discutidas mundialmente, porém aplicadas de modo específico para cada país.

Preocupações com os efeitos dos OGMs no ambiente

As grandes preocupações com as plantas transgênicas se referem principalmente às tecnologias Bt (resistência a insetos) e HT (tolerância a herbicidas). Segundo [Carpenter et al. \(2002\)](#), que realizaram um estudo comparativo baseado em referências bibliográficas, são nove as principais considerações a respeito do impacto ambiental das lavouras de soja, milho e algodão transgênicos:

1. Mudanças nos padrões de utilização de pesticidas.
2. Conservação e gerenciamento do solo.
3. Presença de ervas daninhas.
4. Fluxo gênico entre espécies diferentes.
5. Desenvolvimento de pragas resistentes.
6. Alteração na população de pragas.
7. Impacto em organismos benéficos e espécies não-alvo.
8. Impacto na eficiência /produtividade do uso da terra.
9. Impactos sobre os trabalhadores rurais.

[Margarido \(2003\)](#) relata preocupações semelhantes referentes à liberação de OGMs no ambiente, também referentes às tecnologias Bt (resistência a insetos pela inserção de genes Bt) e HT (resistência a herbicidas), são elas:

1. A utilização de OGMs pode ameaçar a diversidade genética por meio da promoção da erosão genética.
2. Os OGMs poderiam transferir seus genes para variedades silvestres ou cultivos não transgênicos e produzir “super” ervas daninhas.
3. Os cultivos intensivos de espécies resistentes a herbicidas podem transformá-las em plantas daninhas.
4. O risco potencial de produzir novas bactérias patogênicas por transferência horizontal de genes e recombinação gênica.
5. O risco potencial de produzir novos vírus por recombinação gênica, principalmente pelo uso massivo de plantas resistentes a vírus.
6. Desenvolvimento de pragas por utilização de plantas resistentes a insetos pela transformação com genes do Bt (*Bacillus thuringiensis*).
7. O uso maciço de plantas Bt pode afetar interações potencialmente negativas que afetem processos ecológicos e organismos benéficos.

Podemos resumir essas preocupações da seguinte maneira: a) risco da variedade cultivada ou silvestre “transformada” tornar-se uma espécie daninha invasora; b) desenvolvimento de resistência pelo uso maciço da tecnologia; c) possibilidade de escape gênico (transferência vertical e horizontal); d) efeito adverso sobre espécies não-alvo e benéficas; e) impactos nos sistemas de produção vegetal.

Risco de desenvolvimento de “super” plantas daninhas

O aparecimento de plantas daninhas resistentes a herbicidas começou a ser documentado no início dos anos 1970, principalmente para os herbicidas atrazina e paraquat, bem como outros herbicidas utilizados em larga escala ([SANDERMANN, 2006](#)). Nessa época, o glifosato foi classificado dentro do grupo com baixa probabilidade de induzir resistência, quando comparado a outros herbicidas contendo sulfoniluréias e imidazolinonas que foram classificados de alto risco. Já foram descritas em 90 espécies de plantas daninhas o desenvolvimento de resistência a herbicidas que induzem a inibição de

acetolactato sintase (ALS), e 65 para resistência a atrazina. Nesses 30 anos de uso de glifosato, a resistência natural já foi descrita, no entanto apenas para 16 espécies (Tabela 2) ([SANVIDO et al., 2006](#)) e será melhor discutida no próximo tópico. Acredita-se que essa baixa indução de resistência é em virtude das propriedades químicas do herbicida e do seu modo de ação (SANVIDO et al., 2006).

Tabela 2. Espécies de plantas daninhas resistentes ao Glifosato.

1984		, 1987
1996		., 2005;
1998		, 2005
2001		
1997	() .	., 2005; , 2005
2000		, 2005
2001		, 2005; , 2001; 2004
2000	(.)	., 2005; , 2005
2001		., 2005;
2004		, 2005
2002		, 2005
2003		., 2005
2003		., 2005
2004		
2004		, 2005
2004		, 2005
2004		, 2005
2004		., 2005
2005		., 2005

Fonte: Adaptado de [Cerqueira e Duke, 2006](#); [Sandermann, 2006](#).

Segundo [Sandermann \(2006\)](#), a evolução de biótipos de plantas daninhas resistentes pode ocorrer por três processos: (1) mutantes dentro da população; (2) transferência de genes entre as populações ou espécies (introgressão); (3) mecanismos de resistência de genes únicos ou múltiplos. No entanto, as experiências com o cultivo de OGMs tolerantes a herbicidas estão demonstrando que o aparecimento de plantas daninhas resistentes a herbicidas ocorre não por modificação genética, mas pelo manejo incorreto da cultura e do herbicida utilizado pelo produtor ([SANVIDO et al., 2006](#)). Segundo [Heap \(1997\)](#), para evitar o desenvolvimento de plantas daninhas resistentes, o produtor deve cultivar as plantas HT em rotação com cultivares convencionais ou resistentes a diferentes tipos de herbicidas.

Desenvolvimento de resistência pelo uso intensivo da tecnologia

A alta adesão mundial dos produtores ao plantio de soja resistente ao glifosato representou a maior adoção de uma tecnologia na história da agricultura ([SANKULA; BLUMENTHAL, 2004](#)). Embora isso demonstre que a tecnologia apresenta grandes vantagens para o agricultor, por outro lado suscita preocupações a respeito da possibilidade de indução de plantas daninhas resistentes ao glifosato pelo uso inadequado da tecnologia. É conhecido que as populações de plantas daninhas, são, em geral heterogêneas. Assim, dentro da população, podem ocorrer indivíduos sensíveis ao herbicida e indivíduos mutantes resistentes para essa característica. No entanto, sob uma pressão de seleção pelo uso excessivo do princípio ativo, essa resistência natural pode aumentar dentro da população, pela seleção dos indivíduos resistentes e, com o tempo, dominância do banco de sementes do solo, levando ao surgimento de resistência na população ([SANDERMANN, 2006](#)).

O glifosato é um herbicida de largo espectro, baixo impacto ambiental e praticamente não causa danos às espécies cultivadas, por isso sempre apresentou boa aceitação entre os produtores, entretanto, nos EUA, sua utilização cresceu seis vezes de 1992 a 2002, principalmente em razão da adoção dos OGMs e do plantio direto ([GIANESSI; REIGNER, 2006](#); [CERDEIRA; DUKE, 2006](#)). Segundo Gianesse e Reigner (2006), no período de 1997 a 2002, houve um crescimento de 30 milhões de kg uso de glifosato, e um decréscimo de 28 milhões de kg no uso dos outros herbicidas, demonstrando uma substituição do princípio ativo.

Embora o glifosato tenha sido classificado como um herbicida com baixo risco de induzir o desenvolvimento de resistência em plantas daninhas, essa resistência tem sido demonstrada para algumas espécies ([Tabela 2](#)), entretanto, somente três casos foram associados ao uso de OGMs ([CERDEIRA; DUKE, 2006](#); [SANDERMAN, 2006](#)). No Brasil, não há descrição de espécies resistentes ao glifosato, mas algumas são de difícil controle pelo herbicida, são elas: *Chamaesyce hirta* (Erva de Santa Luzia), *Commelina benghalensis* (Trapoeiraba), *Spermacoce latifolia* Aubl (Erva quente), *Euphorbia heterophylla* (Amendoim bravo), *Richardia brasiliensis* Gomes (Poaia branca) e *Ipomea* ssp. (Salsa, Batarana) ([CERDEIRA; DUKE, 2006](#)).

De maneira similar às plantas resistentes a herbicidas, a principal ameaça referente às plantas Bt (resistentes a insetos) é a indução da resistência na população de insetos selvagens em razão da pressão de seleção pelo uso intensivo dessas plantas. Essa seleção poderia ocorrer em virtude de mutações naturais ou induzidas, perda de proteases que ativam a toxina no trato intestinal do inseto, alta atividade proteolítica de enzimas degradadoras das toxinas, entre outros ([CHRISTOU et al., 2006](#)). Entretanto, após 9 anos de liberação comercial do algodão Bt e 5 anos do milho Bt, não foi observado desenvolvimento de resistência nos insetos-alvo ([CHRISTOU et al., 2006](#); [OMOTO; MARTINELLI, 2004](#)). Segundo Christou et al. (2006), o plantio de cultivares convencionais junto com cultivares Bt (refúgios) é um manejo altamente recomendado e utilizado, sendo a provável explicação da ausência do surgimento de resistência até o momento.

A manutenção de refúgios permite que os insetos susceptíveis sobrevivam e cruzem com os insetos resistentes, diluindo a frequência dos alelos de resistência e evitando o crescimento da quantidade de indivíduos homocigotos para esse alelo ([CHRISTOU et al., 2006](#); [OMOTO; MARTINELLI, 2004](#)). Outras possibilidades para a não detecção da resistência são: 1) possibilidade de o inseto possuir mais de um alvo interno para a toxina; 2) baixa adaptação ao ambiente do inseto resistente; 3) a resistência verificada em condições de laboratório não reflete a realidade dos campos experimentais dos OGMs ([CHRISTOU et al., 2006](#); [OMOTO; MARTINELLI, 2004](#)).

A resistência de pragas a pesticidas tem sido um dos principais problemas mundiais envolvendo o uso de produtos químicos, independente do cultivo de

OGMs. Existem vários motivos para indução de resistência das pragas aos pesticidas, entre elas a aplicação mais freqüente de pesticidas; aumento na dosagem do produto; uso de misturas indevidas de produtos e substituição por um outro produto, geralmente de maior toxicidade. Dentro desse contexto, estratégias de manejo da resistência recomendam a rotação de produtos que apresentam diferentes mecanismos de ação, ou a mistura desses produtos. O princípio da mistura de dois produtos (A e B) se baseia no fato que os indivíduos resistentes ao produto A serão controlados pelo produto B e vice-versa ([OMOTO, 2000](#)).

Resistência por fluxo gênico

A introgressão é o movimento de um gene ou de genes de uma planta doadora para outra sexualmente compatível de um genótipo diferente (espécies, variedades ou biótipos diferentes) por polinização, seguida de cruzamentos entre o híbrido dentro da população até a estabilidade do gene na população ([CERDEIRA; DUKE, 2006](#)). Em outras palavras, para que ocorra o fluxo gênico é necessário que sucedam os seguintes processos: a hibridização e a introgressão ([SANVIDO et al., 2006](#)). A hibridização ocorre se as plantas doadoras e receptoras crescerem perto o suficiente para a troca de pólen, se elas são compatíveis sexualmente, se florescem na mesma época e se o pólen é viável quando atinge o estigma da espécie receptora, pois, embora o pólen possa viajar longas distâncias, seja por meio do vento, insetos ou outros animais polinizadores, sua viabilidade decresce com o tempo e as condições ambientais ([CERDEIRA; DUKE, 2006](#); [SANVIDO et al., 2006](#)). Uma vez ocorrendo a fertilização e a formação da semente, para que ocorra a introgressão, essa semente precisa germinar, hibridizar outras plantas selvagens, e persistir no ambiente até que o gene esteja incorporado ao genoma da espécie selvagem, após várias gerações de hibridização ([SANVIDO et al., 2006](#)).

Segundo [Sanvido et al. \(2006\)](#), existe um consenso dentro da comunidade científica de que pode haver fluxo gênico entre as variedades transgênicas e as espécies selvagens compatíveis sexualmente. Estudos com canola no Canadá demonstraram essa possibilidade. No entanto, esse fluxo ocorre na mesma proporção apresentada pelas espécies não-transgênicas. A questão é se esse transgene causaria um impacto relevante na população selvagem. No caso da canola resistente a herbicida, cultivada há anos no Canadá, não foram encontradas evidências de que esse cultivo tenha espalhado resistência na população selvagem de canola. Embora estudos tenham demonstrado o aparecimento de resistência dupla e tripla a herbicidas dentro da população

selvagem de canola, isso não conduziu ao aparecimento de voluntárias multi-resistentes, sugerindo que o controle químico e/ou o manejo das plantas daninhas tem sido eficiente para evitar esse problema ([SANVIDO et al., 2006](#)).

A preocupação principal da indução de resistência ao glifosato era a possibilidade de haver transferência mediada por pólen, ou seja, a ocorrência de fluxo gênico ou introgressão. No entanto, o aparecimento de espécies resistentes está ocorrendo como consequência da pressão de seleção pelo uso exagerado de glifosato ([CERDEIRA; DUKE, 2006](#); [SANDERMANN, 2006](#)). Entretanto, especialistas não consideram esse efeito catastrófico, pois pode ser evitado pelo manejo correto do herbicida e utilização de outros herbicidas ou tratos culturais, conforme verificado no caso da canola (SANVIDO et al., 2006; CERDEIRA; DUKE, 2006).

Em ambientes naturais, após 10 anos de plantio de OGMs, não foi observado nenhuma extinção de espécies selvagens pela introgressão de resistência de transgenes dentro da população. No caso de resistência a herbicidas, não é esperado que a introgressão dessa característica confira algum benefício de seleção, pois dificilmente esses genes teriam características seletivas dentro do ambiente natural, porque não há aplicação de glifosato nesses ambientes ([WISNIEWSKI et al., 2002](#)). No entanto, a introgressão de genes de resistência a insetos em espécie vegetal selvagem pode resultar em vantagem evolutiva para esta espécie, consequentemente a presença do alelo de resistência aumenta gradativamente na população, resultando na adaptação das pragas naturais ao gene inserido e na perda da tecnologia (WISNIEWSKI et al., 2002; SANVIDO et al., 2006). As consequências genéticas e ecológicas da transferência do transgene para as espécies selvagens são complexas e dependem do tipo de transgene, local de inserção, densidade das plantas e fatores ecológicos, e difíceis de serem previstas (WISNIEWSKI et al., 2002; SANVIDO et al., 2006). Entretanto, após 10 anos de plantio comercial de OGMs, não foi detectada nenhuma introgressão de genes de resistência em espécies selvagens ([CHRISTOU et al., 2006](#); [CRICKMORE, 2006](#)).

Efeito em espécies não-alvo e benéficas

O efeito de plantas transgênicas sobre as espécies não-alvo tem sido bastante discutido, principalmente para as plantas Bt. Espécies não-alvo são definidas como as espécies que não são propósito direto do uso de um pesticida particular ([VAN LEEWEN; HERMENS, 1995](#)). A resistência a insetos, característica introduzida nas plantas Bt, é expressa pelas proteínas Cry do *Bacillus thuringiensis* (Bt) e tem

como alvo lagartas da ordem lepidóptera, principalmente as espécies *Ostrinia nubilis* (lagarta-européia) e *Diabrotica* spp. (larva-de-diabrotica), para o milho Bt; e *Pectinophora gossypiella*, *Alabama argillacea*, *Heliothis virescens* (lagarta-das-maçãs) e *Helicoverpa zea* no algodão Bt (BOBROWISKI et al., 2003). No entanto, existe a preocupação sobre seu efeito sobre outras espécies de lepidópteros não-alvo, como por exemplo a borboleta monarca.

No caso específico de toxidez direta, os organismos não-alvo precisam ingerir a proteína expressa pelas plantas Bt, por meio de uma das seguintes exposições (Fig. 3): (1) ingestão direta de amostras da planta (folhas, pólen); (2) ingestão de insetos alimentados com as plantas Bt; (3) exposição ambiental (resíduos vegetais da plantas Bt no solo) (SANVIDO et al., 2006).

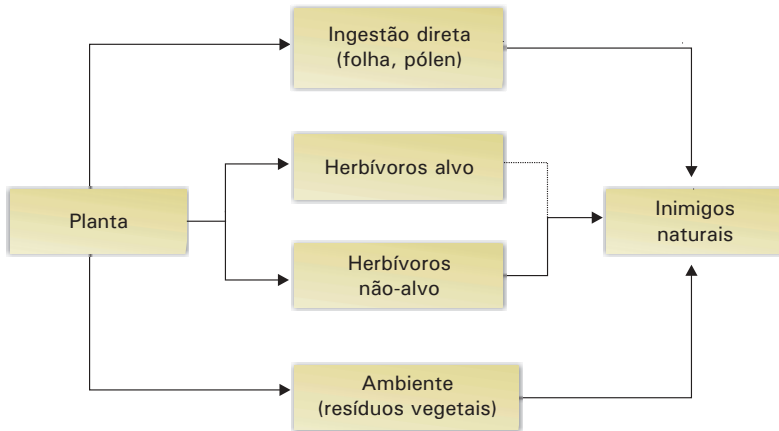


Fig. 3. Rotas de exposição a inimigos naturais de diferentes níveis tróficos a plantas produtoras de proteínas inseticidas (Adaptado de Sanvido et al., 2006).

Resultados de vários estudos realizados nos últimos anos não demonstraram evidências de efeitos provenientes da toxidez direta da proteína Cry, expressa em plantas Bt sobre os inimigos naturais não-alvo em campos experimentais (SANVIDO et al., 2006). Segundo os autores, existem mais evidências de que as plantas Bt são mais alvo-específicas e apresentam menor efeito colateral sobre espécies não-alvo que os inseticidas utilizados atualmente (SANVIDO et al., 2006). Efeitos indiretos sobre os inimigos naturais (predadores) nos plantios de milho Bt ocorreram pela diminuição da disponibilidade dos herbívoros alvos da proteína CRY. No entanto, a maioria dos predadores naturais se alimenta de

várias espécies, e no campo buscam outras espécies para se alimentarem quando há uma diminuição de uma espécie particular. Assim, a ocorrência de efeito indireto não está somente relacionada ao plantio do OGM, mas a qualquer manejo para controle da praga, pois todos reduzem a disponibilidade dos insetos-alvo e conseqüentemente afetam a população de inimigos naturais.

As plantas tolerantes a herbicida são consideradas sem efeito direto em espécies não-alvo, pois a tolerância a herbicida é uma característica normalmente expressa em plantas e conhecidas por não terem propriedades tóxicas. Entretanto, apresentam impactos ambientais indiretos em razão das alterações nas práticas culturais (SANVIDO et al., 2006). Um estudo da FSE (Farm Scale Evaluations) realizado na Inglaterra demonstrou que houve uma queda da biomassa de plantas daninhas nos campos de beterraba e canola resistentes a herbicidas e, conseqüentemente, diminuiu a densidade de insetos que, por sua vez, afetaram negativamente a população de pássaros da região. As conclusões desse estudo consideram que o uso de plantas resistentes a herbicida afetam a biodiversidade das regiões rurais (SQUIRE et al., 2003; CHAMPION et al., 2003). No entanto, embora o manejo de plantas resistentes a herbicidas permita um maior controle das plantas daninhas, qualquer sistema de manejo dessas pragas, quando bem aplicado, também terá a mesma conseqüência. Assim, os resultados são devidos a um efetivo sistema de controle das plantas daninhas, podendo ocorrer com outros tipos eficiente de manejo (SANVIDO et al., 2006).

Caso da borboleta monarca

Estudos realizados em laboratório, nos quais larvas de borboleta monarca foram alimentadas com grandes quantidades de pólen da variedade de milho Bt, demonstraram um efeito devastador no crescimento das mesmas e morte após 4 dias de exposição (LOSEY et al., 1999; JESSE; OBRYCKI, 2000). No entanto, estudos posteriores, levando em consideração a possibilidade de exposição das larvas dessa borboleta ao pólen do milho em condições de campo, demonstraram que existe uma diferença temporal entre a época de polinização (disponibilidade de pólen) e a presença da larva em campo (SEARS et al., 2001; OBERHAUSER et al., 2001), bem como uma menor densidade de pólen que a utilizada em laboratório (PLEASANTS et al., 2001; HELMICH et al., 2001). Os diversos autores concluíram que o risco do milho Bt para a borboleta monarca são negligíveis, pois os resultados obtidos em laboratório com altas doses de CRY1AB não refletem a disponibilidade de proteína para as borboletas em campo (SANVIDO et al., 2006).

Impactos nos sistemas de produção vegetal

Uma das grandes questões no âmbito ambiental se refere ao impacto dessas culturas na utilização de pesticidas ou seja: *O plantio das culturas OGMs atuais aumenta ou diminui o uso de pesticidas?*

Segundo [James \(2005\)](#), houve uma redução cumulativa no ingrediente ativo de pesticidas de 172.500 t entre 1996 e 2004, equivalente a um decréscimo de 14 % no impacto ambiental associado ao uso de pesticidas nas lavouras ([Tabela 3](#)). Entretanto, esses números precisam ser avaliados conforme o tipo de OGM e do local onde ele é introduzido.

O uso de pesticida é medido pelo Quociente de Impacto Ambiental (EIQ), desenvolvido por [Kovach et al. \(1992\)](#), e integra os vários impactos ambientais de cada ingrediente ativo do pesticida. Para ser obtido, multiplica-se a quantidade de ingrediente ativo utilizado por hectare de cultivo do OGM. A metodologia calcula e compara o EIQ para plantios convencionais e transgênicos e agrega o valor para níveis nacionais. A quantidade de pesticida utilizada nas áreas convencionais e transgênicas, em cada ano, foi comparada à quantidade que seria utilizada caso todo o cultivo tivesse sido convencional em cada ano, durante o período de 1996 a 2004. Segundo [Brookes e Barfoot \(2005\)](#), as lavouras GM contribuíram para uma significativa redução no impacto ambiental global da produção agrícola (Tabela 3). O uso de herbicida para a soja HT caiu 4 % (Tabela 3), no entanto, em alguns países, houve um aumento relativo do uso de glifosato referente aos níveis históricos de uso, conforme explicado anteriormente. O maior ganho ambiental foi referente ao algodão Bt, que apresentou uma queda de 15 % no uso de inseticidas desde 1996 ([BROOKES; BARFOOT, 2005](#)).

[Sankula et al. \(2005\)](#) avaliaram os impactos de plantas transgênicas no uso de herbicidas nos EUA e calcularam que houve uma queda de 23.000 toneladas no uso de pesticidas durante o ano de 2004, representando uma diminuição de 34 %, comparado com 2003. Cerca de 11% da redução é referente ao uso de plantas resistentes a insetos, e o restante é consequência do uso de plantas resistentes a herbicidas.

Tabela 3. Impacto global das alterações no uso de herbicidas e inseticidas de culturas transgênicas , 1996-2004.

	()		%	%
	-41,4	-4,11	-3,8	-19,4
	-18,0	-503	-2,5	-3,4
	-24,7	-1,002	-14,5	-21,7
	-4,8	-252	-9,7	-20,7
	-6,3	-377	-3,7	-4,4
	-77,3	-3.463	-14,7	-17,8
	-172,5	-9.708	-6,3	-13,8

HT: resistente a herbicida (glifosato); Bt: resistente a insetos (gene do *Bacillus Thuringiensis*).

Fonte: Adaptado de [Brookes e Barfoot, 2005](#).

Entretanto, [Benbrook \(2004\)](#), utilizando outra metodologia e avaliando os impactos somente nos Estados Unidos, encontrou resultados um pouco diferentes. A metodologia utilizada dividiu-se em três etapas: (1) coleta os dados da área plantada com culturas HT e Bt na base do USDA; (2) coleta os dados das áreas de plantio convencional e transgênico das culturas estudadas; (3) cálculo da diferença, baseado na premissa de que um acre não cultivado com OGM receberia o mesmo volume de aplicações de pesticidas que um acre plantado com uma cultivar não-transgênica. Por fim, a diferença na quantidade de pesticida aplicada por acre para cada cultura transgênica durante um ano é multiplicada pela quantidade de acres plantada durante aquele ano.

Baseado nesse cálculo, Benbrook (2004) concluiu que o uso das três culturas (soja, algodão e milho) resistentes a herbicida aumentou o uso do mesmo em 5 %, enquanto o uso de cultivares Bt diminuiu em 5 % o uso de inseticidas. O mesmo autor afirma que, nos três primeiros anos de cultivo (1996 a 1998), houve uma queda no uso do glifosato, mas a partir de 1999 houve uma inversão na utilização, segundo ele, provavelmente porque as plantas daninhas desenvolveram resistência ao glifosato. No entanto, estudos comprovaram que o

aparecimento de resistência não está relacionado ao uso da tecnologia. Sendo que o crescimento no consumo de glifosato está diretamente relacionado à adoção dos produtores aos OGMs resistentes ao herbicida ([GIANESSI; REIGNER, 2006](#); [CERDEIRA; DUKE, 2006](#)).

Considerações finais

O cultivo comercial de plantas geneticamente modificadas gerou preocupações referentes ao impacto ambiental que elas poderiam causar. No entanto, essas preocupações foram discutidas em fóruns internacionais de forma racional, avaliando os verdadeiros riscos que uma nova tecnologia pode trazer, confrontando-as com os benefícios, principalmente comparativamente às tecnologias existentes. Com isso, vários órgãos internacionais determinaram normas a serem seguidas, principalmente no que se refere ao impacto sobre a biodiversidade, embora cada país tenha sua própria legislação a esse respeito.

Independente da adoção de OGMs, a agricultura moderna tem um impacto profundo no ambiente, inclusive na biodiversidade. Estudos demonstraram que a adoção de diferentes manejos agrícolas resultou no declínio da diversidade de plantas, invertebrados e espécies de pássaros, por causa da queda na quantidade de plantas daninhas e, conseqüentemente, de invertebrados para alimentação de pássaros.

Atualmente, existem diversos estudos que geram dados substanciais a respeito do impacto ambiental de OGMs. Embora existam alguns dados controversos, os resultados obtidos até o momento não demonstraram evidência científica de efeito no ambiente. Os estudos desenvolvidos no Brasil ainda são incipientes, uma vez que a Lei de Biossegurança foi aprovada somente em 2005 e a CTNBio, que é responsável pelas avaliações técnicas para liberação de plantios para pesquisa e comerciais foi regulamentada somente no final do mesmo ano. Atualmente, a Embrapa desenvolve um projeto de biossegurança alimentar e ambiental de alguns OGMs produzidos pela Empresa. São eles: soja RR, algodão Bt, batata, mamão resistente ao vírus-da-mancha-anelar e feijão resistente ao vírus-do-mosaico-dourado. Esse projeto finaliza em 2008, quando serão divulgados os resultados.

Referências

- BENBROOK, C. Genetically engineered crops and pesticide use in the United States: the first nine years. **BioTech Infonet**, n. 7, 2004. Technical Paper Disponível em: <http://www.ucsus.org/assets/documents/food_and_environment/Benbrook.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2006.
- BERG, P. **Asilomar and recombinat DNA**. 2004. Disponível em: <http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/articles/berg/index.html>. Acesso em: 10 nov. 2006.
- BERG, P.; BALTIMORE, D.; BRENNER, S.; ROBLIN III, R. O.; SINGER, M. F. Summary statement of the Asilomar Conference on Recombinat DNA Molecules. **Proceedings of the National Academic Science USA**, v. 72, p. 1981-1984, 1975.
- BOBROWSKI, V. L.; FIUZA, L. M.; PASQUALI, G.; BODANESE-ZANETTINI, M. H. Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 843-850, 2003.
- BORÉM, A. Impactos da biotecnologia na biodiversidade. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Uberlândia, v. 34, p. 22-28, 2005.
- BRAUN, R.; AMMAN, K. Biodiversity: the impact of biotechnology. **Encyclopedia of Life Support Systems**, Oxford, p. 1-17, 2002.
- BROOKES, G.; BARFOOT, P. G. M. Crops: the global economic and environmental impact: the first nine years 1996-2004. **AgBioForum**, v. 8, p. 187-196, 2005.
- CARPENTER, J.; GOODE, T.; HAMMIG, M.; ONSTAD, D. SANKULA, S. **Comparative environmental impacts of biotechnology derived and traditional soybean, corns, and cotton crops**. Indianapolis: Council for Agriculture Science and Technology, 2002. 42 p.
- CERDEIRA, A. L.; DUKE, S. O. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistance crops: a review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, p. 1633-1658, 2006.
- CHAMPION, G. T.; MAY, M. J.; BENNET, S.; BROOKS, D. R.; CLARK, S. J.; DANIEIS, R. E.; FIRBANK, L. G.; HAUGHTON, A. J.; HAWES, C.; HEARD, M. S.; PERRY, J. N.; RANDLE, Z.; ROSSAL, M. J.; ROTHERY, P.; SKELLERN, M. P.; SCOTT, R. J.; SQUIRE, G. R.; THOMAS, M. R. Crop management and

agronomic context of the farm scale evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B-Biological**, London, v. 358, p. 1801-1818, 2003.

CHRISTOU, P.; CAPELL, T.; KOHLI, A.; GATEHOUSE, J. A.; GATEHOUSE, A. M. R. Recent development and future prospects in insect pest control in transgenic crops. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 302-308, 2006.

COHEN, S. N.; CHANG, A. C. Y.; HSU, L. Nonchromosomal antibiotic resistance in bacteria: genetic transformation of *Escherichia coli* by R-factor DNA. **Proceedings of the National Academic Science USA**, v. 69, p. 2110-2114, 1972.

CRICKMORE, N. Beyond the spore: past and future development of *Bacillus thuringiensis* as a biopesticide. **Journal of Applied Microbiology**, Bedford, v. 101, p. 616-619, 2006.

DUNCAN, C. N.; WEELER, S. C. Heritability of glyphosate susceptibility among biotypes of field bindweed. **Journal of Heredity**, Washington, v. 78, p. 57-260, 1987.

DUKE, S. O. Tacking stock of herbicide-resistant crops ten years after introduction. **Pest Management Science**, London, v. 61, p. 211-218, 2005.

GIANESSI, L.; REIGNER, N. **Pesticide use in U.S. crop protection: 2002**. Washington: CropLife Foundation, 2006. 40 p.

HEAP, I. M. The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. **Pesticide Science**, Oxford, v. 51, p. 235-243, 1997.

HEAP, I.; DiNICOLA, N.; GLASGOW, L. **International survey of herbicide-resistant weeds**. 2005. Disponível em: <<http://www.weedscience.org/in.asp>>. Acesso em: 30 jan. 2007.

HELLMICH, R. L.; SIEGFRIED, B. D.; SEARS, M. K.; STANLEY-HORN, D. E.; DANIELS, M. J.; MATTILLA, H. R.; SPENCER, T.; BIDNE, K. G.; LEWIS, L. C. Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis*-purified proteins and pollen. **Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America**, Washington, v. 98, p. 11925-11930, 2001.

JAMES, C. **Executive summary of global status of commercialized biotech/GM crops: 2005**. Ithaca: ISAAA, 2005. 11 p. (ISAAA Briefs, 34).

JAMES, C. **Executive summary of global status of commercialized biotech/GM crops**: 2006. Ithaca: ISAAA, 2006. (ISAAA Briefs, 35). Disponível em: <<http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/35/pptsides/default.html>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

JAMES, C. **Global status of transgenic crops in 1997**. Ithaca: ISAAA, 1997. 31 p. (ISAAA Briefs, 4).

JACKSON, D. A.; SYMONS, R. H.; BERG, P. Biochemical methods for inserting new genetic information into DNA of Simion Virus 40: circular SV40 DNA molecules containing Lambda Phage genes and galactose operon of *Escherichia coli*. **Proceedings of National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 69, p. 2904-2909, 1972.

JESSE, L. C. H.; OBRYCKI, J. J. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. **Oecologia**, Berlin, v. 125, p. 241-248, 2000.

KNEZEVIC, S. Z. Use of herbicide tolerant crops as a component of integrated weed management program. **NebGuide**, University of Nebraska, Canadá, 5 p. 2002. Disponível em: <<http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/g1484/build/g1484.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2006.

KOVACH, J.; PETZOLDT, C.; DEGNI, J.; TETTE, J. A method to measure the environmental impact of pesticides. **New York's Food and Life Sciences Bulletin**, Geneva, NY, 1992. Disponível em: <<http://www.nysaes.cornell.edu/pubs/fls/OCRPDF/139.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2006.

LOOSEY, J. E.; RAYOR, L. S.; CARTER, M. E. Transgenic pollen harms monarch larvae. **Nature**, London, v. 399, p. 214, 1999.

MARGARIDO, L. A. C. Riscos e incertezas dos cultivos transgênicos sob a perspectiva agroecológica. In: COSTA, M. F. B.; COSTA, M. A. F. (Org.). **Biossegurança de OGM: saúde humana e ambiental**. Rio de Janeiro: Papel Virtual, 2003. p. 68-80.

MINARÉ, R. L. O princípio da precaução. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 34, p. 65-66, 2005.

MYHR, A. I.; TRAAVIK, T. The precautionary principle: scientific uncertainty and omitted research in the context of GMO use and release. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 15, p. 73-86, 2002.

OBERHAUSER, K. S.; PRYSBY, M. D.; MATTILLA, H. R.; STANLEY-HORN, D. E.; SEARS, M. K.; DIVELY, G.; OLSON, E.; PLEASANTS, J. M.; LAM, W. F. K.; HELLMIC, R. L. Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen. **Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America**, Washington, v. 98, p. 11913-11918, 2001.

OMOTO, C. Modo de ação dos inseticidas e resistência de insetos a inseticidas. In: GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. (Ed.). **Bases técnicas de manejo de insetos**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. p. 30-49.

OMOTO, C. **Avanços na implementação de programas de manejo da resistência de pragas a pesticidas no Brasil**. Disponível em: <<http://www.irac-br.org.br/arquivos/avancosimplprog.doc>>. Acesso em: 30 nov. 2006.

OMOTO, C.; RISCO, M. D. M. ; SCHMIDT, J. B. **Manejo da resistência de pragas a inseticidas**. Disponível em: <<http://www.irac-br.org.br/arquivos/manejorespragas.doc>>. Acesso em: 30 nov. 2006.

OMOTO, C.; MARTINELLI, S. Resistência de insetos a plantas geneticamente modificadas. In: BORÉM, A. (Org.). **Biotecnologia e meio ambiente**. Viçosa: Folha de Viçosa, 2004. v. 1, p. 273-310.

OWEN, M. D.; ZELAYA, I. A. Herbicide-resistant crops and weed resistance to herbicides. **Pest Management Science**, Sussex, v. 61, p. 301-311, 2005.

PLEASANTS, J. M.; HELLMINCH, R. L.; DIVELY, G. P.; SEARS, M. K.; STANLEY-HORN, D. E.; MATTILLA, H. R.; FOSTER, J. E.; CLARK, P.; JONES, G. D. Corn pollen deposition on milkweeds in and near cornfields. **Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America**, Washington, v. 98, p. 11919-11924, 2001.

SANDERMANN, H. Plant biotechnology: ecological case studies on herbicide resistance. **Trends in Plant Science**, v. 11, p. 324-328, 2006.

SANKULA, S.; BLUMENTHAL, E. Impacts on US agriculture biotechnology-derived crops planted in 2003: na update of eleven case studies. **National Center for Food and Agricultural Policy**, Washington, p. 92, 2004. Disponível em: <<http://www.agbios.com/docroot/articles/04-365-001.pdf> >. Acesso em: 17 nov. 2006.

SANKULA, S.; MARMON, G.; BLUMENTHAL, E. Biotechnology-derived crops planted in 2004: impacts on US agriculture. **National Center for Food and**

Agricultural Policy, Washington, p. 101, 2005. Disponível em: < <http://www.ncfap.org/whatwedo/pdf/2004biotechimpacts.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2006.

SANVIDO, O.; STARK, M.; ROMEIS, J.; BIGLER, F. Ecological impacts of genetically modified crops: experiences from ten years of experimental field research and commercial cultivation. **Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART**, Zurich, p. 108, 2006. Disponível em: < http://www.art.admin.ch/dms_files/03017_de.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2006.

SEARS, M. K.; HELLMINCH, R. L.; SATANLEY-HORN, D. E.; OBERHAUSER, K. S.; PLEASANTS, J. M.; MATTILLA, H. R.; SIEGFRIED, B. D.; DIVELY, G. P. Impacts of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: a risk assessment. **Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America**, Washington, v. 98, p. 11937-11942, 2001.

SQUIRE, G. R.; BROOKS, D. R.; BOHAR, D. A.; CHAMPION, G. T.; DANIEIS, R. E.; HAUGHTON, A. J.; HAWES, C.; HEARDS, M. S.; HILL, M. O.; MAY, M. J.; OSBORN, J. L.; PERRY, J. N.; ROY, D. B.; WOIWOD, I. P.; FIRBANK, L. G. On rationale and interpretation of the farm scale evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B-Biological**, London, v. 358, p. 1779-1799, 2003.

STEWART, C. N. Another type of superweed? In: STEWART, C. N. **Genetically modified planet: environmental aspects of genetically engineered plants**. Oxford: Oxford University, 2004. p. 68-71.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTS PROGRAMME - UNEP. **Highlights of some of the basic requirements of the Cartagena Protocol on Biosafety**. 2003
Disponível em: <www.biodiv.org/doc/notifications/2003/ntf-2003-127-cop-en.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2004.

VAN GESSEL, M. J. Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. **Weed Science**, Ithaca, v. 49, p. 703-705, 2001.

VAN LEEWEEN, C. J.; HERMENS, J. M. L. **Risk assessment of chemicals: an introduction**. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1995. 374 p.

WISNIEWSKI, J. P.; FRANGNE, N.; MASSONNEAU, A.; DUMAS, C. Between myth and reality: genetically modified maize, an example of a sizeable scientific controversy. **Biochimie**, Paris, v. 84, p. 1095-1103, 2002.

Transgenic Environmental Biosafety

Abstract - *In 2005, there were 90 million hectares cultivated with GMOs by 8.5 million producers in 21 countries. In 2006, we commemorated 10 years of commercial production of GMOs. Currently there are 10 million farmers planting 100 million hectares. However, several points were raised concerning the environmental impact of GMOs: (1) risk of cultivated or wild hybrid become a harmful invasive species, (2) development of resistance by the massive use of technology, (3) possibility of vertical or horizontal gene flow, (4) adverse effect on non-target and beneficial species, (5) impacts on crop production systems. This article discusses the main results on those concerns. The data obtained so far show that the environmental impacts of GMOs are similar to a non transgenic crops and are related to the incorrect management of culture than the use of a transgenic cultivar. Meanwhile, the concerns are relevant and should continue to be discussed in international forums and studied in researchers institutions to elucidate the controversial results. However, the results obtained so far show no scientific evidence of the impact of GMOs into the environment.*

Index terms: transgenic, GMO, risk assessment, biosafety, HT soybean, BT maize