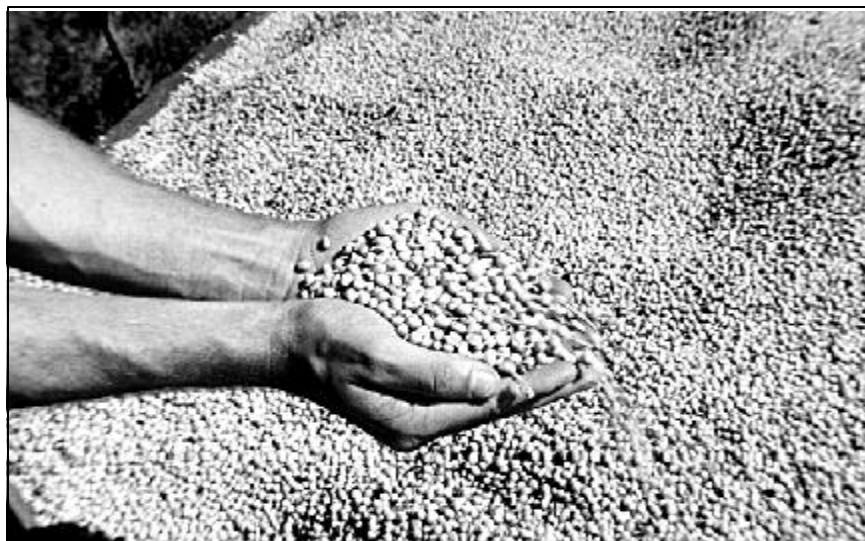


## Impactos ambientais das plantas transgênicas: as evidências e as incertezas\*



Guerra, Miguel Pedro e Nodari,  
Rubens Onofre\*\*

**Resumo:** A inserção das modernas biotecnologias na agricultura mundial vem promovendo um animado debate mundial sobre oportunidade, impactos e implicações da sua tecnologia mais polêmica; a que envolve as plantas transgênicas. No Brasil, o cultivo comercial dos chamados transgênicos encontra-se suspenso por decisão judicial. A análise de impactos, benefícios e riscos das plantas transgênicas deve ser baseada em uma matriz que considera os aspectos de saúde e se-

gurança alimentar, ecológicos, econômicos e sociais, cuja complexidade aumenta proporcionalmente à escala envolvida. A análise caso a caso e passo a passo deve ser a balizadora destes estudos. No presente artigo, são apresentadas e discutidas estas questões, com ênfase àquelas associadas aos impactos ambientais. Esta ênfase é justificada pelo somatório recente e crescente de evidências de que pouco ainda sabemos sobre estes riscos e impactos, e que, portanto, é necessário que se invista mais na pesquisa sobre estes impactos e riscos, proporcionalmente aos estudos de performance agrônômica, muitos deles travestidos de estudos de biossegurança. As incertezas nesta área devem encontrar guarida no princípio da precaução, cujo postulado principal nos lembra que a falta de evidências científicas não deve ser usada como razão para postergar a tomada de medidas preventivas, ou que, a ausência de evidência não pode ser tomada como evidência da ausência. Não se pautar por este princípio

\*Trabalho originalmente submetido para a publicação na revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Emater/RS, v.2., n.3, 2001.

\*\*Professores Titulares, Curso de Pós Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Dep. de Fitotecnia-CCA, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 88040-900  
mpguerra@cca.ufsc.br, nodari@mbox1.ufsc.br

significa aceitar sua outra face, o princípio da familiaridade que gerou, entre outros, os danos ambientais e de saúde causados pelos pesticidas e a doença da vaca louca.

## 1 Introdução

A expressão 'engenharia genética' surgiu nos anos 70 do século passado, quando foram descobertas as enzimas de restrição. Estas, são capazes de reconhecer uma pequena sequência de pares de bases e então cortar o DNA neste sítio de reconhecimento ou de corte. Como existem outras enzimas (ex: ligases) capazes de ligar dois fragmentos de DNA, surgiu a possibilidade de se recombinar fragmentos de DNA. Assim, o DNA de uma espécie pode ser cortado e ligado ao DNA da mesma ou de outra espécie. Para resumir estes procedimentos surgiram duas expressões: engenharia genética ou tecnologia do DNA recombinante, e seus produtos passaram a ser denominados Organismos Geneticamente Modificados (OGMs), dos quais as plantas transgênicas passaram a ser um de seus elementos de maior impacto.

Como decorrência, o advento das chamadas 'novas biotecnologias' pode possibilitar, entre outras, a reprogramação da vida, inclusive a do ser humano e, adicionalmente, a valoração econômica e as tentativas de apropriação dos conhecimentos gerados, mediadas por acordos internacionais de propriedade intelectual, e de acesso aos recursos genéticos, provocaram em vários países, inclusive no Brasil, mudanças na legislação incidente sobre este tema (Nodari et al., 2001).

Neste contexto, este artigo procura discutir, não o poder das biotecnologias em si, nem os cenários que podem ser desenhados na aplicação de suas técnicas para resolução de inúmeros problemas da agricultura brasileira. Este potencial de uso é limitado apenas pela criatividade e pelo julgamento inadequado do valor de um gene, desde que se conside-

re a disponibilidade de tecnologias de isolamento e transformação de uma dada espécie. Este artigo procura, então, contribuir para a discussão dos principais elementos envolvidos na análise de riscos de alguns produtos oriundos destas biotecnologias: os transgênicos. Como proposta em aberto, ele não pretende esgotar o tema, mas contextualizar e confrontar os principais argumentos utilizados na discussão das biotecnologias e especialmente da transgenia e suas implicações sobre a biodiversidade e a agricultura.

Por que biodiversidade e agricultura? Porque, o esgotamento do modelo agrícola vigente permitiu a geração de um ambiente no qual, por um lado coloca consumidores cada vez mais conscientes e exigentes e que desejam se alimentar com produtos de alta qualidade biológica e, de outro, a percepção de que é necessário alterar substancialmente os paradigmas vigentes na matriz da exploração agrícola e seus reflexos sobre a degradação ambiental e a redução ou perda da biodiversidade. Em ambos os casos, os profissionais das ciências agrárias e biológicas, bem como os agricultores e usuários, podem desempenhar um papel relevante (Guerra e Nodari, 1999; Nodari et al., 2001).

## 2 A recombinação de DNA in vitro: no caminho da segunda conquista da espécie humana?

Organismo transgênico é aquele cujo genoma recebeu genes exógenos por meio de técnicas de engenharia genética. A transgenia se constitui, então, num processo que permite o rompimento da barreira sexual e numa alternativa de introdução de genes em plantas. Assim, tornou-se possível a reprogramação genética de todo e qualquer ser vivo, uma competência adquirida sem precedentes na história da humanidade. O fogo, considerado a primeira conquista tecnológica do homem, também teve enormes impli-

cações, pois possibilitou transformar parte do mundo inanimado da natureza em mundo de pura utilidade (Rifkin, 1998).

Ao contrário das outras biotecnologias, a transgenia, por ser de abrangência ampla e de caráter multidisciplinar, apresenta profundas implicações relacionadas aos seus impactos ao meio ambiente e à saúde humana, bem como suas implicações sobre aspectos socioeconômicos e culturais, à bioética e às relações políticas e institucionais, notadamente aquelas relacionadas com o papel das agências regulatórias.

### 3. Melhoramento genético (tradicional) e transgenia: equivalentes?

Métodos de melhoramento geram novas combinações genéticas por meio de cruzamentos sexuais entre plantas que apresentam as características desejadas. Cruzamentos são feitos entre plantas da mesma espécie e, ocasionalmente, entre espécies do mesmo gênero e, muito raramente, de gêneros afins. Das metodologias utilizadas pelo melhoramento de plantas, a introgressão de genes, feita por retrocruzamentos sucessivos do F1 para o genótipo recorrente, é a que mais se assemelha à transgenia, em termos de obtenção

A transgenia apresenta profundas implicações relacionadas aos seus impactos ao meio ambiente e à saúde humana, aos aspectos sócio-econômicos e culturais, à bioética e às relações políticas e institucionais.

de uma nova associação alélica. Contudo, existem muitas diferenças entre ambas, que estão explicitadas na Tabela 1.

Na transgenia, seqüências de DNA são cortadas por enzimas restrição, ligadas a outras seqüências, incluindo as regulatórias e inseridas em uma célula que deve regenerar uma planta transgênica. Assim, a Soja RR transgênica resistente ao Round-up, contém material genético de pelo menos quatro diferentes organismos: vírus-do-mosaico-da-couve-flor, petúnia e duas seqüências gênicas derivadas de *Agrobacterium*.

Do ponto de vista legal, no Brasil, Organismo Geneticamente Modificado (OGM) é o organismo cujo material genético (ADN/ARN) tenha sido modificado por qualquer técnica de engenharia genética. A Lei 8.974, de 5/01/95, definiu ainda engenharia genética como a atividade de manipulação de moléculas ADN/ARN recombinantes. Ou seja, os trans-

gênicos são diferentes dos não-transgênicos não só quanto a natureza, mas também do ponto de vista legal<sup>1</sup> (tabela 1).

### 4. Biotecnologias x biossegurança: duas faces da mesma moeda?

*"As biotecnologias em seu sentido mais amplo, compreendem a manipulação de microorganismos"*

Tabela 1. Comparação entre o método do retrocruzamento e a transgenia.

	Retrocruzamento	Transgenia
Objetivo	Alterar ou introduzir uma característica	Alterar ou introduzir uma característica
Natureza	Substituição de alelos	Adição de novas seqüências (quiméricas)
Tempo	3 a 6 anos	Variável
Tecnologia	Simple	Sofisticada
Pool gênico	Limitado	Ilimitado
Custo	Baixo	Elevado
Resultados	Previsíveis/ Limitados	Imprevisíveis/Ilimitados
Efeitos adversos	Raros	Freqüentes
	Ex: alelos indesejáveis	Ex.: efeitos pleiotrópicos*; toxinas;
Distribuição (provável) dos benefícios	Instituições públicas e privadas, agricultores e consumidores.	Grandes empresas, grandes agricultores, cientistas, melhoristas

Adaptado de Nodari e Guerra (2001)

\*- Quando um ou mais genes produzem efeitos fenotípicos diversos, diz-se que sua expressão é pleiotrópica.

mos, plantas e animais, objetivando a obtenção de processos e produtos de interesse" (Nodari et al., 2001). Já a "biossegurança é o conjunto de ações voltadas para a prevenção, minimização ou eliminação dos riscos inerentes as atividades de pesquisa, produção, ensino, desenvolvimento tecnológico e prestação de serviços, riscos estes que podem comprometer a saúde humana, dos animais, das plantas, do meio ambiente" (Teixeira e Valle, 1996).

Enquanto a primeira aborda o potencial e a natureza das tecnologias, a segunda discute os impactos e os riscos dos produtos oriundas da primeira. Boa parte da polêmica que está hoje estabelecida em nível mundial decorre de uma tentativa deliberada de confundir ambas, que são de natureza e objeto diferentes, tendo características próprias. Assim, uma das críticas que vem sendo feita no Brasil à atuação da CTNBio deriva do fato de sua atuação perpassar a impressão de uma pauta menos associada à biossegurança e mais

à promoção das técnicas dos OGMs. É importante mencionar que diferentes produtos oriundos de uma mesma tecnologia podem apresentar riscos e impactos diferenciados. Daí a importância da análise caso a caso e passo a passo.

## 5. Riscos ao meio ambiente: fatos ou mitos?

A ameaça à diversidade biológica em consequência da liberação de OGMs decorre das propriedades do transgene no ecossistema ou de sua transferência e expressão em outras espécies. A adição de um novo genótipo numa comunidade de plantas pode desencadear efeitos indesejáveis, como o deslocamento ou a eliminação de espécies não-domesticadas, a exposição de espécies a novos patógenos ou agentes tóxicos, a geração de plantas daninhas ou pragas resistentes, a poluição genética, a erosão da diversidade genética e a interrupção da ciclagem de

nutrientes e energia (Tiedje et al., 1989; Fontes et al., 1996; Ho et al., 1998; Nodari e Guerra, 2001).

Uma revisão publicada em dezembro de 2000 revelou que em dois terços dos trabalhos científicos, o cultivo de plantas transgênicas causou danos aos componentes do ecossistema (Wolfenbarger e Phifer, 2000). Os estudos analisados revelaram que seus efeitos (tabela 2) foram distintos, porque diferentes transgenes foram empregados.

Além dos efeitos em organismos não-alvo aci-

Tabela 2. Efeitos verificados de OGMs em componentes não alvo dos ecossistemas.

Espécie/ Tipo de Estudo	Fonte da toxina	Efeitos verificados
Borboleta monarca, <i>Danaus plexippus</i>	Pólen de milho Bt	Bt - 56% sobrevivência Não Bt - 100% sobrevivência
Borboleta monarca, <i>Danaus plexippus</i>	Pólen de milho Bt	Bt - 20% mortalidade Não Bt - 0 a 3% mortalidade
Borboleta <i>Papilio polyxenes</i>	Pólen de milho Bt	Sem diferenças na mortalidade; Com alta dose de pólen - 20% de sobrevivência
<i>Eulophus phenicomis</i>	Presas ( <i>Lacania oleracea</i> ) alimentada com GNA (de batata)	Sem efeito no número de ovos, tamanho da fêmea ou tempo de desenvolvimento
"Green lacewing" ( <i>Crysoperla carnea</i> )	Presas ( <i>S. littoralis</i> e <i>O. nubilalis</i> ) alimentada com milho Bt	Bt -62% mortalidade x 37% com milho não Bt
Joaninha ( <i>Adalia bipunctata</i> )	Afídios colonizados em batata GNA ( <i>Galanthus nivalis agglutin</i> )	Efeito negativo na fecundidade, viabilidade de ovos e longevidade dos adultos
Joaninha ( <i>Hippodamia convergens</i> )	Afídios colonizados em batata Bt	Sem efeito no peso da pupa, fecundidade ou longevidade das progêneses
Microorganismos de solo	Batata GNA	Diferenças transitórias na microbiota do solo
Microorganismos de solo	Canola RR	Mudança na estrutura e menor diversidade na comunidade bacteriana na rizosfera
Fonte: Wolfenbarger e Phifer, 2000.		

ma mencionados, relatos científicos vêm comprovando outros riscos ambientais (Tabela 3), anteriormente previstos (Tiedje et al., 1989).

Os impactos ecológicos da transferência de pólen, um mecanismo reprodutivo pelo qual a introgressão pode ocorrer, dependem da capacidade dos híbridos em sobreviver e reproduzir. Taxas de sobrevivência ou de reprodução indicam a oportunidade da introgressão de transgenes em populações naturais, dependendo do fluxo gênico subsequente e da pressão de seleção (Wolfenbarger e Phifer, 2000). Estes autores relataram 11 casos de formação de híbridos entre variedades transgênicas e plantas aparentadas e/ou daninhas. Para se tornar uma ameaça, como uma planta invasiva, os híbridos precisam ser viáveis e competitivos, além de férteis quando dependem da reprodução sexual para propagação. Com base no se conhece hoje, nem todos os híbridos vão atingir a última fase.

Por outro lado, a disseminação de genes via não-sexual como a transferência horizontal ou lateral é praticamente inevitável (Syvadan, 1994). Casos de transferência horizontal (ex: de plantas para bactérias) também já foram relatados (Tabela 3).

## 6. As relações entre os OGMs e a agricultura: problemas e vizinhança

Dentre os riscos para a agricultura, os mais relevantes seriam o aumento da população de pragas e microorganismos resistentes e/ou patogênicos, o aumento ou promoção de plantas daninhas resistentes a herbicidas, contaminação de variedades crioulas mantidas pelos agricultores, contaminação de produtos naturais como o mel, diminuição da diversidade em cultivo com o au-

mento da vulnerabilidade genética, dependência dos agricultores a poucas empresas produtoras de sementes, produtividade e incerteza dos preços dos produtos transgênicos. Parte destes riscos já foram comprovados (Tabela 4, na página 35) com alguns produtos já estudados.

Um exemplo ilustra um risco inquestionável: os efeitos maléficos das endotoxinas codificadas por genes de *Bacillus thuringiensis* (Bt) que causam a morte de muitos insetos. Os genes que produzem tais toxinas são chamados impropriamente de genes de resistência. Se houver uma grande área plantada com variedades transgênicas resistentes a um inseto, somente os resistentes sobreviverão, gerando progênes recombinantes, que eventualmente, apresentarão maior nível de resistência à toxina. Após vários ciclos de recombinação, deverão aparecer insetos resistentes

Tabela 3. Exemplos selecionados de riscos e impactos de plantas transgênicas no ambiente.

Risco/Impactos	Tipo de planta/gene/estudo	Autor/Fonte
Transferência de transgene para plantas de espécies afins via cruzamentos sexuais interespecíficos	Agrostis	Wipff e Fricker, 2000
Transferência horizontal	DNA de plantas para <i>Acinetobacter</i> sp.	Nielsen et al., 2000
Pleiotropia - Alteração do fenótipo da planta	gene BAR	Al-Kaff et al., 2000
Reação adversas da alimentação de animais	Milho Bt na ração x mortalidade em frangos	Kestin e Knowles, 2000
Recombinação ilegítima/fragmentação de DNA	Recombinase x Ratos	Schmidt et al., 2000
Reação imunogênica	Toxina de Cry1Ac	Vazquez-Padrón et al., 1999
Reação alergênica	Toxina de Cry9C	FIFRA, 2000; RSC, 2000;
Recombinação de vírus em plantas		Greene e Allison, 1994

tes ao gene Bt. No caso desta resistência ser condicionada por genes dominantes, como é o caso do milho (Huang et al., 1999), a velocidade do aumento da frequência dos alelos de resistência é extraordinariamente maior, comparativamente àquela observada para alelos recessivos, permitindo o surgimento de uma superpraga. Assim, os insetos que hoje

Tabela 4. Exemplos selecionados de riscos e impactos de plantas transgênicas na agricultura.

Risco/Impactos	Tipo de planta/gene/estudo	Autor/Fonte
Contaminação por pólen	Milho, Canola	FIFRA, 2000; RSC, 2000;
Transferência de transgene para plantas daninhas via cruzamentos sexuais interespecíficos	Canola, trigo, sorgo e beterraba	Chevre et al., 1998; Steven et al., 1998; Arriola e Ellstrand, 1998; New Scientist, 21/10/2000
Pleiotropia - Alteração do fenótipo da planta	gene BAR	Al-Kaff et al., 2000
Reação imunogênica	Toxina de Cry1Ac	Vazquez-Padron et al., 1999
Aumento de fusarium	Resistência ao Roundup	Kremer et al., 2000
Reação adversas da alimentação	Milho Bt na ração X mortalidade em frangos	Kestin e Knowles, 2000
Aumento do nematóide das galhas	Resistência ao Roundup	Colyer et al., 2000

são suscetíveis ao Bt, serão resistentes no futuro, restando saber em quanto tempo.

Dois exemplos ilustram que a transgenia também pode levar ao aumento de pragas de solo. No primeiro, houve um aumento na suscetibilidade de uma cultivar transgênica de algodoeiro ao nematóide-das-galhas (*Meloidogyne incognita*) comparativamente ao cultivo com não-transgênicos (Colyer et al., 2000). No segundo exemplo, o uso do glifosato combinado ou não com outros herbicidas, aplicado nas doses recomendadas, na Soja RR, resultou numa maior incidência de fusariose nas raízes uma semana após a aplicação, comparativamente à soja não-transgênica (Kremer et al., 2000).

A contaminação genética causada por pólen transgênico já é considerada um fato preocupante. Em vários casos, nos Estados Unidos e no Canadá, foram detectadas sementes de variedades não-transgênicas contaminadas por transgenes. Duas conseqüências são imediatas: conflitos judiciais entre agricultores e empresas ou entre os próprios agricultores e a alteração da natureza do produto, que conforme o caso, pode causar prejuízos financeiros e biológicos, como é o caso de grãos e do mel. Este fato confirma que a agricultura é vizinhança também. A atividade em uma propriedade não é necessariamente isolada do contexto onde está inserida.

Os riscos socioeconômicos também podem ser discutidos. De um lado estão os consumidores brasileiros que, pela pesquisa do IBOPE realizada em agosto de 2001, em sua grande maioria (74%) não desejam consumir alimentos transgênicos,

acompanhando assim a tendência européia. Assim, quais as tendências de mercado para os produtos transgênicos e não transgênicos? De outro lado a incorporação de tecnologias em sementes ameaça a sobrevivência das pequenas e médias empresas de sementes, conferindo uma vulnerabilidade no fornecimento de sementes, devido à alta concentração de poucas empresas no controle deste setor. O agricultor se tornaria um refém das poucas empresas produtoras de sementes protegidas pela Lei de Proteção de Cultivares e com tecnologia patenteada pela Lei de Proteção Industrial.

Por se tratar de uma nova tecnologia e considerando o reduzido conhecimento científico a respeito dos riscos e impactos de OGMs, torna-se indispensável que a liberação para plantio e consumo em larga escala de plantas transgênicas seja precedida de uma análise criteriosa de risco, respaldada em estudos de impacto ambiental, conforme apregoa a legislação vigente. Ou seja, o licenciamento ambiental deve ser considerado indispensável.

É justamente o escasso conhecimento sobre o controle destes genes após a sua inserção no genoma da célula hospedeira que torna a imprevisível tecnologia do DNA recombinante. Esse status representa o principal entrave para a aplicação destas biotecnologias avançadas na agricultura, pois a tecnologia

ainda não permite controle sobre o sítio de inserção do transgene, a expressão gênica, o destino do transgene e os efeitos de sua disseminação. A recente descoberta da presença de seqüências extras de DNA (534 pares de bases) na Soja RR (Windels et al., 2001) e os numerosos casos de efeitos não esperados ilustram a falta de precisão e controle da tecnologia.

## 7 Uma proposta de avaliação de riscos: pertinência para o país?

A avaliação de risco é a avaliação sistemática dos riscos associados à saúde e à segurança humana e ambiental. Os procedimentos devem incluir a identificação dos perigos e a estimativa de suas magnitudes e freqüências de ocorrência, bem como das alternativas ao OGM. Como os riscos associados a uma variedade transgênica dependem das interações complexas decorrentes da modificação genética, da história natural dos organismos envolvidos e das propriedades do ecossistema no qual o OGM é liberado (Peterson et al., 2000; Wolfenbarger e Phifer, 2000), esses procedimentos devem ser aplicados em escala ampla, em termos espaciais e sociais (ver Figura 1).

A liberação de uma cultivar transgênica para o cultivo comercial em larga escala deve ser precedida de um estudo de impacto ambiental que inclua a avaliação de riscos, caso a caso e passo a passo. A abrangência desta avaliação de risco deverá ser baseada numa matriz, a qual, de um lado, inclua a escala espacial (planta, parcela, lavouras agrícolas e região) e, de outro lado, os efeitos diretos e indiretos na agricultura, ecologia e socioeconomia (Nodari e Guerra, 2001; Nodari et al., 2001).

Quando os biólogos moleculares afirmam que foram feitos estudos e não foram detectados efeitos adversos, eles normalmente estão se referindo à primeira das várias células possíveis de serem analisadas (Figura 1). Exis-

Impactos dos OGM		Escala Espacial			
		Riscos e Benefícios Potenciais			
Diretos	Agricultura	Pequeno		Grande	
		Planta	Parcela	Propriedade	Região
	Ecologia				
Indiretos	Social				Difícil

**Figura 1** Efeitos diretos e indiretos de plantas transgênicas (OGMs) e as interações complexas que fazem parte da avaliação de risco ambiental (Adaptado de Peterson et al., 2000).

tem também estudos em parcelas a campo (segunda célula da Figura 1), associados predominantemente à performance agrônômica da planta transgênica, e que, a rigor, não podem ser tomados como estudos de impactos e riscos ambientais. Não há estudos científicos relacionados a todas as células relevantes desta matriz. Existem sim, relatos científicos de estudos isolados com algumas espécies, muitos dos quais foram anteriormente apresentados.

A complexidade da avaliação é decorrente do fato de que os riscos e os benefícios associados a uma cultura específica mudam e tornam-se mais difíceis de serem avaliados na medida em que a área de cultivo aumenta e outros aspectos são considerados. Impactos indiretos nos ecossistemas são muito mais difíceis de investigar, monitorar e, portanto, prever (Peterson et al., 2000). Segundo esses autores, esta é uma das origens da controvérsia estabelecida entre os ambientalistas e os biólogos moleculares. Enquanto os primeiros referem-se aos impactos sociais e nos ecossistemas, os últimos fazem menção aos testes feitos com uma ou poucas plantas em laboratório ou em casa de vegetação.

Embora desenvolvida por vários pesquisadores de diversos países, esta proposta atende o que é apregoado tanto pela Política Nacional do Meio Ambiente, bem como pelas normas de licenciamento ambiental atualmente em vigor, nas quais o princípio da precaução está presente.

## 8. Relações entre biotecnologias, biodiversidade e agricultura: os caminhos e os desafios

Existem alternativas às plantas transgênicas? As principais demandas dos mais de seis milhões de pequenos agricultores familiares no Brasil, e que são os responsáveis principais pela produção da maior parte dos alimentos, não estão associadas à necessidade das plantas transgênicas, mas, sim, à implementação de políticas agrícolas e agrárias consistentes e adequadas às suas necessidades. Assim, a introdução das plantas transgênicas na agricultura brasileira é uma falsa questão, principalmente porque as plantas transgênicas desenvolvidas até o presente momento não atendem às necessidades dessa pequena propriedade familiar. As evidências científicas da utilização de plantas transgênicas com características de resistências a herbicidas (por exemplo, RR) ou portadoras de biocidas (por exemplo, Bt) na produção de commodities agrícolas nas grandes propriedades revelam aumento na frequência de plantas invasoras e insetos resistentes aos transgenes, implicando em vida curta dessas tecnologias. Isto gerará demandas de novas tecnologias (variedades transgênicas e/ou agrotóxicos), o que aumentará o grau de dependência dos agricultores. A avaliação de risco deve necessariamente conter informações sobre outras alternativas, bem como um comparativo e um balanceamento entre os benefícios e riscos das diversas soluções.

Assim, é preciso avaliar simultaneamente alternativas sustentáveis do ponto de vista agrícola e ambiental. Uma delas seria o uso sustentável da agrobiodiversidade, termo empregado para definir a diversidade genética (intra-específica) e a diversidade de espécies (interespecífica) em cultivo nas propriedades agrícolas. Recentemente, observou-se que o cultivo em uma mesma área de diferentes variedades de arroz suscetíveis e resistentes

A introdução das plantas transgênicas na agricultura brasileira é uma falsa questão, principalmente porque as plantas desenvolvidas até o momento não atendem às necessidades da pequena propriedade familiar.

à bruzone, resultou em 89% de acréscimo na produtividade e em uma redução de 94% de severidade dessa moléstia comparativamente à monocultura (Zhu et al., 2000). O sucesso dessa técnica, que é a simples mistura de diferentes variedades, foi tão significativo que, no segundo ano, não foi necessária a aplicação de fungicidas.

Para a maioria das variedades transgênicas existem alternativas. Para exemplificar, tome-se o caso do arroz dourado, famoso por conter genes para a síntese de beta-caroteno. O desenvolvimento deste produto faz uso de processos e produtos protegidos por 70 patentes, pertencentes a 32 empresas. Vitamina A (beta-caroteno) pode ser encontrada em dezenas de espécies comestíveis, dentre elas alface "Uberlândia 10 mil" (10.200 U de vit. A) da UF de Uberlândia; moringa, um arbusto que chega a cinco metros de altura, que além de anticancerígena, contém 22 000 U de vit. A em 100 g e algumas variedades de mandioca (<http://revista.fapemig.br>; Revista Minas Faz Ciência N° 4 09/11-2000; Folha de São Paulo, p.A27, 5/11/2000).

Alternativas a medicamentos produzidos por engenharia genética também existem na natureza. Um exemplo disto é yacón, uma planta originária do Equador e que em sua raiz, parecida com a batata-doce, produz inulina, substância semelhante ao amido, e ideal para o consumo por diabéticos.

O Brasil, que detém a maior diversidade de espécies vegetais do planeta, apresenta



um número de espécies comestíveis e agricultáveis capazes de proporcionar diferentes dietas balanceadas para as diferentes populações, respeitando-se sua cultura e suas necessidades. O fato é que as plantas transgênicas estão sendo consideradas como a única maneira de aumentar a produtividade e a competitividade. Contudo, análises comparativas com outras matrizes de produção agrícola ainda não foram feitas.

## 9 Precaução e ética na transgenética: falácia ou necessidade?

O princípio de precaução está hoje no centro dos mais animados debates científicos, tecnológicos e éticos (Testart, 2001). Este princípio estipula que a ausência de certeza não pode retardar a adoção de medidas efetivas e proporcionais para evitar danos graves e irreversíveis. Pelo princípio da precaução, as políticas ambientais e de saúde devem visar à predição, à prevenção e ao ataque às causas dos danos. Quando há razões para suspeitar de ameaças de redução sensível ou de perda de biodiversidade ou de riscos à saúde, a falta de evidências científicas não deve ser usada como razão para postergar a tomada de

medidas preventivas. De certa forma, este princípio já havia sido consagrado na afirmação "*ausência de evidência não pode ser tomada como evidência da ausência*" ("Absence of evidence is never evidence of absence") contida no Relatório ao governo da Noruega (Traavik, 1999).

Como interpretar os desdobramentos do referido princípio? O primeiro deles reconhece a falibilidade e a incerteza científica e remete a uma questão crucial: é melhor errar perdendo os benefícios potenciais, visando a evitar danos potenciais ou arriscar-se aos danos para realizar os benefícios? O segundo propõe uma primazia em favor dos valores ambientais e de saúde e sugere que é melhor errar em favor da segurança. O terceiro relaciona-se com a dicotomia entre abordagem proativa versus abordagem reativa para os riscos, propondo: a) a execução de pesquisas para a identificação de riscos inaceitáveis; b) a não-aplicação da tecnologia até a redução da incerteza dos riscos, e; c) a geração e aplicação de tecnologias para a redução dos riscos. O quarto e último, consagra a aplicação de um princípio jurídico, associado ao ônus da prova. Assim, caberia às empresas interessadas na liberação das plantas transgênicas, a responsabilidade (ou ônus) da prova de que determi-




nado OGM é seguro (Raffensperger e Tikckner, 1999).

A principal dificuldade em aceitar o princípio da precaução relaciona-se com o fato de que até pouco tempo todos os impactos de determinadas tecnologias encontravam-se sob a égide do princípio da familiaridade ou da gestão dos riscos. Este princípio propõe que se avance, enquanto não houverem provas de que as conseqüências da introdução de uma nova tecnologia sejam realmente nocivas. Aplicado à tecnologia dos OGMs, este princípio sugere que não existem evidências de que as plantas transgênicas sejam nocivas à saúde humana ou animal ou causem danos ambientais e assim, baseado em outro princípio, o da equivalência substancial<sup>2</sup>, parte significativa das agências regulatórias vem decidindo pela aprovação dos pedidos de liberação para o cultivo comercial de plantas transgênicas. Contudo, é importante mencionar que, ao longo do tempo, as abordagens baseadas no princípio da familiaridade ou da gestão dos riscos, nos trouxeram, como legado, os efeitos danosos à saúde humana e animal, e ao meio ambiente, provocados pelos pesticidas; ou então à catástrofe da doença da vaca louca.

Em um instigante artigo publicado no *Le Monde Diplomatique*, Berlan e Lewontin (1999) chamaram a atenção para as grandes companhias do chamado 'complexo genético-industrial', referindo-se a elas como 'estas estranhas empresas das ciências da vida' que conspiram contra a maravilhosa propriedade das sementes em reproduzirem a si mesmas e se multiplicarem nos campos dos agricultores. Observam estes autores que a riqueza de variedades de plantas foi criada por agricultores de todo o mundo, em especial aqueles do Terceiro Mundo. A domesticação e a seleção/adaptação feita por agricultores, durante milhares de anos, gerou uma herança biológica que beneficiou as nações industrializadas. A pujança da agricultura americana, por exemplo, foi construída em cima

Não há demanda social para OGMs. O termo é uma cortina de fumaça para encobrir as demandas do complexo genético-industrial.

destes recursos, livremente importados do resto do mundo, sendo injusto que poucas companhias se apropriem desta herança biológica universal. Enfatizam que o aumento sem precedentes nas colheitas do mundo industrializado, assim como do Terceiro Mundo, pode ser atribuído ao livre movimento de conhecimento, recursos e à pesquisa pública. Argumentam que a experiência recente tem demonstrado que o custo de privatizar o 'progresso genético' é, e será, exorbitante e que desistir dos direitos sobre esta herança significa liberar o complexo genético-industrial para direcionar o progresso tecnológico unicamente para os lucros. Concluem, finalmente, que não há demanda social para OGMs e que o termo é somente uma cortina de fumaça para encobrir as demandas do complexo genético-industrial.

Finalizando, é oportuno traçar um paralelo sobre os principais eventos associados à Revolução Verde e aqueles associados à chamada Revolução Biotecnológica. Por mais críticas que sejam feitas ao legado da primeira, é sempre importante mencionar que ela foi gerada e ambientada em um momento histórico marcado pelo predomínio, em nível mundial, da pesquisa pública e pelo fluxo livre de informações e germoplasma vegetal. Já, a segunda, vem ocorrendo em um momento marcado pelo predomínio da pesquisa desenvolvida por grandes empresas transnacionais e pelas restrições do fluxo de informações e material vegetal, sob a égide de leis de proteção à propriedade intelectual e de direitos de melhoristas. Uma reflexão sobre estas questões nos auxilia a compreender a nova inserção na agricultura das grandes empresas do chamado complexo genético-industrial. 

## 10. Referências bibliográficas

- AL-KAFF, N.S.; KREIKE, M.M.; COVEY, S.; N.; PITCHER, R.; PAGE A.M.; DALE, P.J. Plants rendered herbicide-susceptible by cauliflower mosaic virus-elicited. **Nature Biotechnology**, v.18, n.9, p.995-999. 2000.
- ARRIOLA, P.E.; ELLSTRAND, N.C. Crop-to-weed flow in the genus Sorghum (Poaceae): spontaneous interspecific hybridization between johnsongrass, Sorghum halapense, and crop sorghum (S. bicolor). **Am. J. Botany**, v.83, p.1153-1160, 1998.
- BERLAN, J.P. e LEWONTIN, R.C. Menace of the genetic-industrial complex. **Le Monde Diplomatique**. Janeiro de 1999, p8.
- CHÈVRE, A-M.; BARANGER, F.E.A.; RENARD, M. Gene flow from transgenic crops. **Nature**, v.389, p.924, 1998.
- COLYER, P.D.; KIRKPATRICK, T.L.; CALDWELL, W.D.; VERNON, P.R. Root-Knot Nematode reproduction and root galling severity on related conventional and transgenic cotton cultivars. **The Journal of Cotton Science**, v.4, p.232-236, 2000.
- ELLSTRAND, N.C.; PRENTICE, H.C.; HANCOCK, J.F. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. **Annu. Rev. Ecol. Syst.** v.30, p.539-563, 1999.
- FIFRA Scientific Advisory Panel Report. **Assessment of Scientific Information Concerning StarLink™** Disponível em: <http://www.epa.gov/scipoly/sap>. 2000.
- FONTES, E.G.; SANTOS, I.K.S.M.; GAMA, M.I.C. A biossegurança de plantas cultivadas transgênicas. In: TEIXEIRA, P.; VALLE, S. (Orgs.). **Biossegurança**. Uma abordagem multidisciplinar. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1996. p.313-327.
- GREENE, A.E.; ALLISON, R.F. Recombination between viral RNA and transgenic plant transcripts. **Science**, v.263, p.1423-1425, 1994.
- GUERRA, M.P.; NODARI, R. O. Plantas transgênicas: os desafios da comunidade científica. **O Biológico**, São Paulo, v.61, n.2, p.107-112. 1999.
- HO, M-W.; TRAAVIK, T.; OLSVIK, O. TAPPESER, B.; HOWARD, C.V.; VON WEIZSACKER, C.; MCGAVIN, G.C. Gene Technology and gene ecology of infectious diseases. **Microbial Ecology in Health and Disease**, Stockholm, v.10, p.33-59, 1998.
- HUANG, F.; BUSCHMAN, L.L.; HIGGINS, R.A.; MCGAUGHEY, W.H. Inheritance of resistance to Bacillus thuringiensis toxin (Dipel ES) in the European Corn Borer. **Science**, v.284, p.965-967, 1999.
- KESTIN, S.; KNOWLES, T. Analysis Report of Bt Corn. Guardian (UK), 04/11/2000.
- KREMER, R.J.; DONALD, P.A.; KEASTER, A.J.; MINOR, H.C. Herbicide Impact on Fusarium spp. and Soybean Cyst Nematode in Glyphosate-Tolerant Soybean. Disponível em: [http://www.asacssa-sssa.org/cgbin/abstract\\_database\\_search.cgi?objective=Kremer](http://www.asacssa-sssa.org/cgbin/abstract_database_search.cgi?objective=Kremer). 2000.
- MILLSTONE, E.; BRUNNER, E.; MAYER, S. Beyond 'Substantial equivalence'. **Nature**, London, v.401, p.525-526, 1999.
- NIELSEN, K.M.; VAN ELSAS, J.D.; SMALLA, K. Transformation of Acinetobacter sp. Starin BD413 with transgenic plant DNA in soil microcosms and effects of kamycin on selection of transformants. **Applied and Environmental Microbiology**, v.66, n.3, p.1237-1242, 2000.
- NEW SCIENTIST. Section: This Week, p. 6, 21 Octu.10/2000.
- NODARI, R.O.; GUERRA, M.P. Biossegurança de plantas transgênicas. In: GÖRGENS, F.S.A. (Org.). **Riscos dos transgênicos**. Petrópolis: Vozes, 2000a. p.39-60.
- NODARI, R.O.; GUERRA, M.P. Implicações dos transgênicos na sustentabilidade ambiental e agrícola. **História, Ciências, Saúde** - Manguinhos, Rio de Janeiro, v.7, n.2, p.481-491, 2000b.
- NODARI, R.O.; GUERRA, M.P. Avaliação de riscos ambientais de plantas transgênicas. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v.18, n.1, p.81-116, 2001.
- NODARI, R.O.; GUERRA, M.P.; REIS, M.S. Impactos das 'novas' biotecnologias na biodiversidade e na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, XXII, Aracaju, 2001. **Anais...**, Brasília, CONFAEAB, 14p.
- PETERSON, G.; CUNNINGHAM, S.; DEUTSCH, L.; ERICKSON, J.; QUINLAN, A.; RAEZ-LUNA, E.; TINCH, R.; TROEL, M.; WOODBURY, P.; ZENS, S. The risks and benefits of genetically modified crops: a multidisciplinary perspective. **Conservation Ecology**, v.4, n.1, p.13 Disponível: [www.consecol.org/vol4/iss1/art13](http://www.consecol.org/vol4/iss1/art13). 2000.
- RAFFENSPERGER, C.; TIKCKNER, J. **Protecting public health & the environment: implementing the precautionary principle**. Washington: Island Press, 1999, 385p.
- RIFKIN, J. **O Século da Biotecnologia** - a

## 10. Referências bibliográficas

- valorização dos genes e a reconstrução do mundo. São Paulo: Makron, 1999, 290p.
- SCHMIDT, E.E.; TAYLOR, D.S.; PRIGGE, J.R.; BARNETT, S.; CAPECCHI, M.R. Illegitimate Cre-dependent chromosome rearrangements in transgenic mouse spermatids. *PNAS*, v.97, p.13.702-13.707, 2000.
- STEVEN, S., ZEMETRA, R., FRANCIS, Y.L., JONES, S.S. Production of herbicide-resistant jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*) X wheat (*Triticum aestivum*) hybrids in the field by natural hybridization. Washington. Disponível em: <http://www.nalusda.gov/ttic/tektran>. 1999.
- SYVADAN, M. Horizontal gene transfer: evidence and possible consequences. *Annual Review of Genetics*, v.28, p.237-261, 1994.
- TEIXEIRA, P.; VALLE, S. *Biossegurança*. Uma abordagem multidisciplinar. Rio de Janeiro: Fiocruz, 1996. p.313-327.
- TESTART, J. Les experts, la science et la loi. Le Monde Diplomatique. Disponível em: [www.portoalegre2002.org](http://www.portoalegre2002.org). 2001.
- THE ROYAL SOCIETY OF CANADA. *Elements of precaution*: recommendations for the regulation of food biotechnology in Canada. Ottawa,
- TIEDJE, J.M.; COLWELL, R.K.; GROSSMAN, Y. L.; HODSON, R.E.; LENSKI, R.E; MACK, R.N.; REGAL, P.J. The planned introduction of genetically engineered organisms - Ecological considerations and recommendations. *Ecology*, v.70, n.2, p.298-315. 1989.
- TRAAVIK, T. *Too early may be too late*. Research Report for DN 1999-1. Ecological risks associated with the use of naked DNA as biological tool for research, production and therapy. Trondheim, Norway, 1999. 106p.
- VAZQUEZ-PADRÓN, R.I.; MORENO-Fierros, L.; NERI-BAZAN, L.; RIVA, G.A., LÓPEZ-REVILLA, R. Intra-gastric and intraperitoneal administration of Cry1Ac protoxin from *Bacillus thuringiensis* induces systemic and mucosal antibody responses in mice. *Life Sciences*, v.64, n.21, p.1897-1912, 1999.
- WINDELS, P.; TAVERNIERS, I.; DEPICKER, A.; VAN BOCKSTAELE, E.; LOOSE, M. Characterization of the Roundup Ready soybean insert. *European Food Research and Technology*, v.213, n.2, p.107-112, 2001.
- WIPFF, J.K.; FRICKER, C.R. Determining gene flow of transgenic creeping bentgrass and gene transfer to other bentgrass species. *Diversity*, v.16, n.1/2, p.36-39, 2000.
- WOLFENBARGER, L.L.; PHIFER, P.R. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, v.290, p.2088-2093, 2000.
- ZHU, Y.; CHEN, H.; FAN, J.; WANG, Y. LI, Y.; CHEN, J.; FAN, J.X.; YANG, S.; HU, L.; LEUNG, H.; MEW, T.W.; TENG, P.S.; WANG, Z.; MUNDT, C.C. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, v.406, p.718-722, 2000.

## Notas

<sup>1</sup>No presente artigo, transgênico será utilizado como sinônimo de OGM.

<sup>2</sup>"Equivalência substancial" é utilizada quando duas variedades não diferem substancialmente uma da outra nos aspectos

cor, textura, teor de óleo, composição e teor de aminoácidos essenciais e de nenhuma outra característica bioquímica (Millestone et al., 1999). Este critério é utilizado pelas agências regulatórias americanas na liberação de OGMs para cultivo e consumo.