

DA TRANSFORMAÇÃO EM BACTÉRIAS ÀS PLANTAS TRANSGÊNICAS

*Rubens Onofre Nodari
Miguel Pedro Guerra*

Em 1928, portanto vinte e cinco anos antes do trabalho clássico de Watson e Crick, foi descoberta a transformação genética. De lá para cá, os avanços científicos possibilitaram ao ser humano a manipulação do DNA, a molécula cuja função é carregar a informação genética que é lida pela maquinaria celular durante o desenvolvimento de um organismo ou vírus. O homem tornou-se capaz de reprogramar a vida de seres vivos e de vírus. Depois da produção do fogo e de seus usos, esta se constitui na segunda grande conquista tecnológica da humanidade. Também já é prática rotineira, em laboratório, o isolamento, a recombinação de fragmentos de DNA de diferentes organismos e sua transferência para plantas, animais e microrganismos, originando os transgênicos, que se caracterizam por carregarem um inserto de DNA engenheirado in vitro, passível de patenteamento. Contudo, o homem ainda não adquiriu conhecimento suficiente que lhe permita o controle tanto da expressão quanto do destino dos genes inseridos. Assim, é pertinente a análise dos riscos dessa tecnologia, necessidade reforçada pelo fato de que já existem provas científicas de efeitos adversos de vários transgênicos em diferentes componentes do ecossistema.

Introdução

O ano de 2003 não representa apenas o cinquentenário da proposta de modelo estrutural do DNA. Antes deste, dois outros fatos foram igualmente relevantes: 75 anos atrás descobriu-se a transformação genética em bactérias e, há 59 anos, os ácidos nucléicos foram apontados como o princípio da transformação genética. Estes dois eventos, aliados às descobertas do início dos anos 70, possibilitaram a obtenção dos organismos geneticamente modificados ou transgênicos.

Esse curto período de tempo permitiu o aprofundamento e a fundamentação dos conhecimentos científicos no campo das ciências da vida. O avanço no conhecimento científico experimentou uma interação muito profícua e dinâmica com o desenvolvimento de novas tecnologias, de tal sorte que o primeiro afetou o segundo e vice-versa. Em especial, a manipulação do DNA está no centro de várias tecnologias que possibilitam a reprogramação da vida dos organismos, inclusive a do ser humano, a partir da adição de seqüências extras, geralmente quiméricas¹. Outras tecnologias possibilitam obter a genotipagem², a diagnose de doenças, a fusão somática e a clonagem.

Paralelamente ao avanço do conhecimento científico na manipulação do DNA, esforço considerável da comunidade científica e de empresas de biotecnologia foi feito para desenvolver métodos de transferência de DNA recombinante e sua integração no genoma de um organismo de interesse.

Quando as aplicações comerciais das novas biotecnologias tornaram-se mais conspícuas, ocorreu uma outra revolução, agora nas formas de apropriação e uso dos recursos genéticos e seu conhecimento associado. A valoração econômica e as tentativas de apropriação desses conhecimentos, assim como de técnicas biológicas ou daqueles “seres vivos” delas resultantes, provocaram, em vários países, mudanças na legislação favorecendo esta apropriação. No Brasil, as novas leis de Propriedade Intelectual foram implementadas nos anos 90, a saber: Propriedade Industrial, Proteção de Cultivares, Patrimônio Genético, *Software* e Direito Autoral, para citar as principais. A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), ocorrida na Rio-92, também introduziu mudanças não só na forma de regulamentar o acesso aos recursos genéticos, mas também na instituição do Princípio da Precaução no uso dos recursos genéticos e nos produtos e processos derivados das biotecnologias.

¹ Seqüências quiméricas: conjunto de fragmentos ligados por técnicas de DNA recombinante que não são contíguos *in vivo*.

² Genotipagem: caracterização de parte do genoma dos indivíduos com o acesso a diversas marcas contidas no DNA.

A segunda grande conquista tecnológica da espécie humana

Há mais de cinco mil anos a espécie humana vem utilizando biotecnologias, notadamente as fermentações, para a produção de alimentos e bebidas. Assim, tanto o pão quanto o vinho são produtos de biotecnologias. Com o avanço do desenvolvimento científico e tecnológico, outras biotecnologias foram desenvolvidas. Em decorrência, o conjunto de técnicas empregadas na cultura de tecidos vegetais a partir de meados do século passado permitiu a multiplicação vegetativa e conseqüentemente a clonagem massal³ de genótipos⁴ selecionados. A palavra *clone* foi utilizada por Herbert J. Webber para descrever uma colônia de organismos derivados por via assexual de um único progenitor. Contudo, atualmente a conotação popular da palavra é de cópia.⁵ Hoje, a micropropagação é a técnica biotecnológica mais empregada no mundo, com impactos benéficos em termos de fixação de ganhos genéticos e de sanidade e sem representar riscos ao ambiente, já que as mudas obtidas em laboratório são livres de doenças e de pragas, o que contribui para a diminuição do uso de agrotóxicos.

Além dos aspectos fitossanitários e da captura e fixação de ganhos genéticos, a cultura de tecidos é também utilizada para: (i) conservação de coleções de germoplasma em *ex situ in vitro*; (ii) limpeza de vírus; (iii) geração de nova variabilidade genética por meio da variação somaclonal (variação genética induzida pelas condições da cultura *in vitro*); (iv) estabelecimento de competência regenerativa na transformação genética (capacidade das células e tecidos vegetais em regenerarem uma planta completa); (v) superar barreiras pré e pós-zigóticas de incompatibilidade (mecanismos genéticos, bioquímicos ou morfológicos que impedem a fertilização do óvulo a partir do pólen de uma mesma flor ou planta); (vi) obtenção de duplo-haplóides homocigotos (plantas obtidas a partir da cultura de grãos de pólen ou óvulo seguido da duplicação do número de cromossomos); (vii) obtenção de linhagens celulares para a produção de metabólitos secundários (compostos produzidos pelo metabolismo secundário de plantas) de interesse farmacológico e industrial (biorreatores). Mais recentemente, na área animal, estas técnicas vem sendo empregadas para a obtenção de linhagens de células-tronco de mamíferos, incluindo a espécie humana.

Também a partir dos anos 70, houve uma intensificação do uso de marcadores genéticos. Marcador genético é uma característica (fenotípica ou seqüência de DNA) capaz

³ Clonagem massal: produção em larga escala de indivíduos geneticamente idênticos.

⁴ Genótipos: composição específica de alelos de uma célula ou indivíduo.

⁵ SILVER, L. M. What are clones? *Nature*, 412(6842): 21, 2001.

de detectar diferenças entre dois ou mais indivíduos ou organismos. Os marcadores moleculares facilitam a realização de estudos de genética, taxonomia e evolução de plantas, proporcionando um substancial avanço no conhecimento científico e tecnológico. As principais implicações deste avanço se refletem no poder, precisão e rapidez na análise e manipulação da variabilidade genética. Assim, o melhoramento de plantas pode beneficiar-se de várias maneiras do emprego dos marcadores moleculares. Seus principais usos estão associados à: (i) construção de mapas genéticos e mapas de características consideradas de importância; (ii) caracterização da variabilidade genética e de variedades; (iii) seleção indireta (assistida por marcadores) e (iv) diagnose de doenças.

Duas biotecnologias mais recentes, a transgenia e a clonagem de seres vivos, aumentam ainda mais o poder do homem na manipulação genética, provocando as mais diversas reações em vários segmentos sociais. A transgenia é um processo no qual são utilizadas várias técnicas que possibilitam a obtenção de um ser vivo, em cujo genoma é inserida uma ou mais quimeras genéticas por métodos não sexuais. Por sua vez, a clonagem (de animais e do homem) é um processo que possibilita a obtenção de uma ou mais cópias de um ser vivo por via assexual a partir de células somáticas.

Adquiriu assim, o homem, a capacidade de reprogramar, em princípio, a vida de todo e qualquer ser vivo, inclusive a sua, podendo fazer cópias genéticas de si mesmo. Alguns autores admitem que essas novas competências se constituem na segunda grande conquista tecnológica da espécie humana, depois do domínio do fogo. Elas representam, sem dúvida, o domínio de uma competência sem precedentes na história da humanidade. Conforme menciona Jeremy Rifkin⁶, o homem transformou parte do mundo inanimado da natureza em mundo de pura utilidade e o uso do fogo permitiu a ampliação da sua base alimentar, a confecção de ferramentas e utensílios e de sistemas de defesa e foi a base para o desenvolvimento industrial, cujo ápice estamos vivendo.

Mas, ao contrário das outras biotecnologias, a transgenia e a clonagem de mamíferos carregam profundas implicações. De um lado, as implicações da primeira estão relacionadas aos possíveis riscos ao ambiente e à saúde humana, bem como às relações sócio-econômicas e de dominação política. Já a clonagem causa perplexidade face às ameaças à diversidade cultural, aos seus riscos ainda não bem conhecidos, ao renascimento da eugenia e aos demais desafios aos princípios éticos até então vigentes.

⁶ RIFKIN, J. *O Século da Biotecnologia* – a valorização dos genes e a reconstrução do mundo. São Paulo: Makron, 1999. 290 p.

As principais descobertas que possibilitam a transgenia

Em 1928, Frederick Griffith conseguiu transformar uma cepa de *Streptococcus pneumoniae* atenuada e não encapsulada (denominada na época de pneumococcus Tipo II) em uma cepa, agora virulenta e com capacidade de encapsulamento (Tipo III). Para tal, Griffith inoculou simultaneamente em um rato uma pequena quantidade de uma cultura viva de pneumococcus Tipo II (Cepa R, não virulenta) e uma grande quantidade de uma cultura Tipo III (Cepa S, virulenta), morta pelo calor.⁷ Não só o rato morreu, como as células recuperadas foram igualmente virulentas em inoculações subseqüentes. O fato de o Tipo II (R) ter-se tornado virulento foi considerado uma prova da aquisição desta característica a partir do outro tipo. O fenômeno foi chamado na época de transformação de genética.

A ocorrência de transformação foi posteriormente confirmada por outros pesquisadores não só em bactérias e vírus, mas também em organismos eucariotos. Embora o resultado fosse conhecido, o processo em si, bem como os princípios do fenômeno, ainda não foram totalmente desvendados.

Segundo Dobzhansky⁸, se tal transformação é descrita como uma mutação genética, trata-se de um autêntico caso de indução de mutações específicas por tratamentos específicos. Em função das descobertas que serão descritas a seguir, define-se transformação como sendo a conversão de um genótipo em outro pela introdução de DNA exógeno.⁹

Várias descobertas possibilitaram um entendimento bastante profundo sobre a transformação genética. Em uma delas, Oswald T. Avery, Collin M. MacLeod e Maclyn McCarthy¹⁰ demonstraram, em 1944, que o agente responsável pela transformação era o DNA. Os autores concluíram que “se o DNA é de fato o princípio da transformação, como as evidências fortemente sugerem, os ácidos nucléicos deste tipo devem ser considerados não apenas como importantes do ponto de vista estrutural, mas como funcionalmente ativos na determinação das atividades bioquímicas e nas características específicas das células de pneumococcus”.

Oito anos mais tarde, em 1952, Alfred Hershey e Martha Chase utilizando o fago T2, um vírus que infecta a *Escherichia coli*, também concluíram que o DNA era o material hereditário. Este experimento foi relevante porque muitos cientistas na época não acreditavam que era o DNA, mas sim as proteínas, a molécula responsável pela hereditariedade, mesmo após o trabalho de Avery e colegas.¹¹

⁷ SUSUKI, D. T.; GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H. & LEWONTIN, R. C. *An introduction to genetic analysis*. 4. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1989. 768 p.

⁸ DOBZHANSKY, T. *Genetics and the origin of the species*. 3. ed. New York: Columbia University Press, 1951. 364 p.

⁹ SUSUKI, D. T. *et. al. Op. cit.*

¹⁰ AVERY, O. T.; MacLEOD, C. M. & McCARTY, M. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of Pneumococcus types. *Journal of Experimental Medicine*, 79(2):137-158. 1944. Publicado em ADELBERG, E. A. (ed.). *Papers on Bacterial genetics*. Boston: Little, Brown and Company, 1960, pp. 147-168.

¹¹ GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H.; SUSUKI, D. T.; LEWONTIN, R. C. & GELBART, W. M. *An introduction to Genetic analysis*. 7. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2000. 768 p.

Experimentalmente Hershey e Chase adicionaram fósforo radioativo (^{32}P) numa colônia de bactérias infectadas por vírus. Neste caso, o fósforo radioativo foi incorporado no DNA, já que pouco ou quase nenhum fósforo é encontrado nas proteínas. Num experimento paralelo, foi feita a adição do isótopo de enxofre (^{35}S), que pode marcar radioativamente as proteínas, já que estas têm enxofre, mas não marca o DNA, pois este não contém enxofre. Como só o ^{32}P foi detectado nas progênes dos vírus, conclui-se que o DNA, e não a proteína, passava de geração a geração.

Um ano mais tarde, James Watson e Francis Crick publicaram o trabalho sobre a estrutura do DNA e suas consequências genéticas, cujo cinqüentenário estamos vivendo.

Em 1970, Hamilton Smith descobriu que algumas enzimas eram capazes de cortar o DNA, quebrando uma longa cadeia em fragmentos de diferentes tamanhos. Ao inocular um vírus denominado fago T7 numa linhagem de *Hemophilus influenzae*, a bactéria hospedeira, Smith verificou que o DNA do vírus T7 resultava em 40 fragmentos específicos. Estudando mais detalhadamente, ele verificou que uma das enzimas da bactéria (chamada de *HindIII*) cortava o DNA sempre que encontrava uma seqüência específica no DNA do vírus (AAGCTT).

Rapidamente, foram descobertas enzimas de restrição em centenas de bactérias, cada uma reconhecendo, geralmente, seqüências diferentes. A descoberta destas tesouras químicas possibilitou a realização de novas combinações de genomas completamente distintas *in vitro*.

Assim, três anos depois, em 1973, o primeiro plasmídeo recombinante foi obtido por Stanley Cohen e seus colaboradores.¹² O plasmídeo foi construído a partir do corte de DNA *in vitro* com enzimas de restrição e a ligação de fragmentos específicos com enzimas chamadas ligases. Surgiu a expressão “tecnologia do DNA recombinante” (que mais tarde recebeu como sinônimo a expressão “engenharia genética”) para designar a combinação *in vitro* de moléculas de DNA de diferentes genomas (ou origens). Basicamente, trata-se do uso de dois grupos de enzimas: as de restrição (do tipo II), que são capazes de reconhecer uma pequena seqüência de pares de bases (geralmente de 4 a 8) e, em seguida, de cortar o DNA nesse sítio de reconhecimento ou de corte; as ligases, que são capazes de ligar dois fragmentos de DNA.

A expressão DNA recombinante deve ser distinguida dos recombinantes naturais que resultam do *crossing-over* entre cromossomos homólogos em ambos, procariotos¹³ e eucariotos¹⁴. DNA recombinante é uma tecnologia que

¹² COHEN, S. N.; CHANG, C. Y.; BOYER, H. W. & HELLING, R. B. Construction of biologically functional bacterial plasmids *in vitro*. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, v. 70, n. 11, p. 3240-3244. 1973.

¹³ Procariotos: organismos formados por uma única célula, sem membrana nuclear.

¹⁴ Eucariotos: organismos compostos por uma ou mais células que possuem núcleo distinto envolvido por membrana nuclear.

¹⁵ GRIFFITHS, A. J. F. *et. al.*
Op. cit.

possibilita a união não natural de DNA de origens não homólogas, geralmente de diferentes organismos.¹⁵ O resultado é uma molécula, denominada por muitos geneticistas de DNA quimérico, tendo em vista que diferentes fragmentos são arranjados de forma contígua. Na natureza, dificilmente o DNA de uma espécie pode ser cortado e ligado ao DNA de outras espécies, resultando imediatamente numa molécula funcional como é normalmente feito no processo *in vitro*.

Assim, um dos genes da transgênica Soja RR, que promove a resistência da planta ao Roundup, herbicida à base de glifosato, contém material genético de pelo menos quatro diferentes organismos: vírus-do-mosaico-da-couve-flor (CaMV), petúnia, *Agrobacterium* CP4 e a *Agrobacterium tumefaciens*. As seqüências de DNA retiradas destas quatro espécies codificam para o promotor, o peptídeo sinal, o gene EPSPS e a seqüência 3' (NOS), respectivamente. As quatro seqüências de DNA foram arranjadas na ordem acima mencionada para possibilitar que esta construção genética se tornasse funcional dentro da planta. Assim, as plantas que têm inserido em seu genoma esta construção genética completa se tornam resistente aos herbicidas a base de glifosato.

Paralelamente ao avanço no conhecimento científico que proporciona a manipulação cada vez mais profunda da molécula responsável pela hereditariedade, também foram observados avanços no desenvolvimento de métodos de transferência destas moléculas de DNA quimérico de um vetor (normalmente um plasmídeo) e inserção no genoma de uma planta.

Enfim, as plantas transgênicas

Em 1983, foi obtida a primeira planta transgênica, após o sucesso de uma das várias tentativas de inserção de uma molécula de DNA quimérico. Para se obter uma planta transgênica é preciso então transformá-la, assim como Griffith transformou pneumococcus em 1928. A transformação de plantas consiste na introdução de uma molécula de DNA quimérica em um genoma. Já os métodos diretos e indiretos são empregados para transformar plantas. O método indireto mais usado emprega a *Agrobacterium tumefaciens* como veículo de entrega do DNA quimérico à planta. Métodos químicos e físicos possibilitam a transformação direta de genomas. Dentre eles destacam-se: biobalística (ou aceleração de partículas), eletroporação, microinjeção e métodos químicos (como polietilenoglicol) e outros.¹⁶

Na transformação genética de plantas, são inseridas várias seqüências, especialmente arranjadas, geralmente isoladas de mais de uma espécie, de forma a garantir a expressão de um

¹⁶ POTRYKUS, I. Gene transfer to plants: assessment of published approaches and results. *Annual Review Plant Physiology*, v. 42, p. 205-225. 1991.
BRASILEIRO, A. C. M. & DUSI, D. M. A. Transformação genética de plantas. *In*: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S. & BUSO, J. A. *Cultura de Tecidos e Transformação genética de plantas*. Brasília: Embrapa/CBAB, 1999, p. 679-735.

ou mais genes de interesse. Particularmente, seqüências de DNA (genes) podem ser removidas de um organismo, ligadas a seqüências regulatórias de outro organismo e inseridas em um terceiro organismo. Neste contexto, o prefixo *trans* é plenamente justificado, pois exprime a idéia de “além de”, significando, neste caso, o rompimento da barreira da espécie.

Com o estabelecimento de normas gerais de biossegurança é que se começou a utilizar a expressão “organismo geneticamente modificado” (OGM). Do ponto de vista legal, no Brasil, OGM é o organismo cujo material genético (DNA/RNA) 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.

As plantas transgênicas, assim como os animais e microrganismos geneticamente modificados, possibilitam tanto estudar questões biológicas fundamentais em nível molecular quanto materializar aplicações da biologia celular e molecular, como, por exemplo, o controle de pragas através da produção pela planta de endotoxinas modificadas ou a produção de um novo produto, como uma vacina ou vitamina.

O significado genético da transgenia

A indução à mutagênese era até então outra maneira utilizada pelo homem para alterar geneticamente uma planta. Neste caso, o genótipo do indivíduo é alterado diretamente *in vivo*. Um exemplo disto é a exposição de sementes a agentes químicos, como o metil sulfonato, ou físicos, como raios de cobalto ou raios X, na esperança de que alguma modificação ocorra no genótipo previamente escolhido. No sentido conceitual de modificação *in vivo*, a transgenia equivaleria à mutagênese (processo que dá origem às mutações), pois também provoca uma alteração genética num genótipo previamente escolhido.¹⁷ Também há similaridade entre ambas quanto à aleatoriedade no *locus* onde ocorrerá a mutação ou a inserção do DNA quimérico. Em ambos os casos, contudo, o cientista ainda não tem controle sobre o *locus* onde ocorrerá a modificação.

Entretanto, existem várias diferenças entre ambos. O processo e, em muitos casos, a natureza da alteração destes dois métodos são diferentes. Na mutagênese, as modificações podem ser de substituição de uma base por outra, deleção ou duplicação de uma ou mais bases e rearranjos diversos. Já na transgenia as seqüências introduzidas são, em tese, previamente conhecidas e são adicionadas, no todo ou em parte, ao genoma previamente escolhido.

¹⁷ 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.

Essa diferença é crucial, pois na tecnologia está embutida a possibilidade da aplicação de leis de propriedade industrial que permitem o patenteamento das seqüências engenheiradas, bem como do processo de transgenia. Tal possibilidade baseia-se naquilo que é adicionado, uma vez que o gene é conhecido, engenheirado e patentado. O mesmo não ocorre com a técnica da mutagênese, embora um cultivar desenvolvido com esta estratégia possa ser protegido por leis de proteção intelectual.

Outra técnica, desenvolvida para terapia genética na espécie humana, a quimeroplastia, foi adaptada para plantas.¹⁸ Ela possibilita a substituição ou a adição de uma base, em uma seqüência conhecida. Neste caso a diferença em relação à transgenia clássica é a utilização de oligonucleotídeos quiméricos. Seu alcance, todavia, é menor, restringindo-se a alterar ou adicionar uma ou poucas bases de um gene cuja seqüência deve ser previamente conhecida.

Freqüentemente é dito por cientistas que “o homem vem produzindo transgênicos há milênios com a seleção artificial de plantas”. É verdade que os agricultores domesticaram as plantas cultivadas e os melhoristas realizaram cruzamentos para conseguirem novas combinações genéticas (progênes). Por meio dos métodos de melhoramento, agora chamados de convencionais, *novas* combinações genéticas são geradas por meio de cruzamentos sexuais entre plantas que apresentam as características consideradas como desejadas. Cruzamentos são feitos entre plantas da mesma espécie e, ocasionalmente, quando a variação genética desejada não existe dentro da espécie, genes são transferidos de outras espécies do mesmo gênero e, muito raramente, de gêneros afins, via introgressão. Das metodologias utilizadas pelo melhoramento de plantas, a introgressão de genes, feita por retrocruzamentos sucessivos do F₁ (ou híbrido, resultante do cruzamento entre dois genótipos distintos) para o genótipo recorrente, é a que mais se assemelha à transgenia, em termos de obtenção de uma *nova* variedade, cuja constituição genética é diferente das demais.

Contudo, existem muitas diferenças entre ambas. Na transgenia, seqüências de DNA (genes) podem ser removidas de um organismo, modificadas ou não, ligadas a outras seqüências, incluindo as regulatórias, e inseridas em outros organismos. A fonte destes genes pode ser qualquer organismo vivo (microorganismo, planta, animal) ou vírus. Os agricultores selecionam plantas ou animais que consideram superiores em relação aos demais, geralmente em populações que apresentam grande diversidade genética. Por sua vez os melhoristas, utilizando o conhecimento científico acumulado e a experiência

¹⁸ BEETHAM, P. R.; KIPP, P. B.; SAWYCKY, X. L.; ARTZEN, C. J. & MAY, G. D. A tool for functional plant genomics: Chimeric RNA/DNA oligonucleotides cause *in vivo* gene-specific mutations. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, v. 96, p. 8.874-8.878, 1999. ZHU, T.; METTENBURG, K.; PETERSON, D. J.; TAGLIANI, L. & BASZCZYNSKI, C. L. Targeted manipulation of maize genes *in vivo* using chimeric RNA/DNA oligonucleotides. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, v. 96, p. 8868-8873. 1999.

dos agricultores, escolhem genitores fenotipicamente diferentes para os cruzamentos, obtendo assim progênes altamente variáveis, o que possibilita fazer a seleção daquelas plantas ou animais que apresentem as características desejáveis. O melhoramento genético, agora denominado de tradicional ou clássico após o surgimento dos transgênicos, pode ser considerado uma forma de biotecnologia, empregada há milênios para diversos propósitos, incluindo a introdução de *novas* variedades de plantas no ambiente. De fato, o melhoramento envolve a manipulação genética, mas não envolve as técnicas da engenharia genética conforme ficaram conhecidas desde 1973.¹⁹

¹⁹ NODARI, R. O. & GUERRA, M. P. *Op. cit.*, 2001.

²⁰ ALLARD, R. W. *Princípios do melhoramento genético das plantas*. São Paulo: Blücher-USAID, 1960. 381p.
FEHR, W. R. *Principles of Cultivar Development*. v. 1 e 2, London: Macmillan Publ., 1987.

O efeito conjunto das mutações naturais e das recombinações entre mutantes, promove o surgimento de uma ampla gama de associações alélicas²⁰, cujo destino é então dependente das diversas forças evolutivas como seleção, migração e deriva. Os primeiros agricultores e, depois, os melhoristas, selecionaram *novas* associações alélicas que melhor se adaptavam à sua maneira de cultivar em cada situação. Assim, não cabe aqui falar de transgenia, mas sim de processo evolutivo.

Uma outra diferença em relação ao melhoramento é o rompimento da barreira sexual quando se utiliza a transgenia.

Finalmente, na maioria absoluta das plantas transgênicas, outros genes também são inseridos como genes marcadores e genes repórteres. Os genes marcadores geralmente promovem resistência a um antibiótico e são utilizados para possibilitar a discriminação entre células transformadas e não transformadas, e conseqüentemente a seleção das primeiras. Tais genes são introduzidos para facilitar o trabalho de identificação das mesmas, pois são uma minoria em relação ao total de células submetidas a transformação. Genes repórteres codificam proteínas facilmente detectáveis. Dentre os genes repórteres, o mais utilizado é o gene *uidA*, extraído de *Escherichia coli*, que codifica a β -glucuronidase (GUS), detectada por métodos histoquímicos.

Limitações no uso de plantas transgênicas

Do ponto de vista científico, mesmo havendo disponibilidade de tecnologias de isolamento e transformação de uma dada espécie, duas limitações restringem o uso de genes via transgenia: a criatividade e o julgamento inadequado do valor de um gene. Esta última limitação refere-se a situações em que o pesquisador não consegue perceber ou não tem informações sobre a utilidade de um gene num programa de melhoramento de uma espécie.²¹ Desta forma, pode-se admitir que existe praticamente uma infinidade de genes que poderiam ser isolados e ou modificados para a obtenção de transgênicos.

²¹ NODARI, R. O. & GUERRA, M. P. *Op. cit.*, 2001.

Do ponto de vista tecnológico, as limitações são em número bem maior, pois atualmente não há controle (i) do sítio de inserção do DNA quimérico no genoma da planta a ser transformada, (ii) da expressão do gene inserido, (iii) da disseminação do gene inserido. Também ainda não há como prever (i) os possíveis efeitos pleiotrópicos (efeitos em outras características), (ii) os possíveis impactos e riscos ambientais, notadamente sobre os organismos não alvos e (iii) os possíveis efeitos na saúde humana.

Do ponto de vista agrônômico, também existem muitas limitações. Dentre elas cabe destaque para: (i) preços inferiores em relação aos produtos orgânicos, agroecológicos ou até mesmo convencionais (por exemplo, milho, soja e trigo); (ii) surgimento de superpragas ou superplantas daninhas por causa da seleção ou transferência de genes; (iii) estreitamento da base genética em cultivo, o que configura uma situação chamada de vulnerabilidade genética; (iv) aumento da dependência do agricultor, pois as sementes serão consideradas uma tecnologia a ser adquirida; (v) surgimento de conflitos com vizinhos ou instituições por causa da contaminação (via pólen, sementes ou resíduos) de outras lavouras, produtos (como o mel), solo ou água e (vi) falta de uma estrutura que possibilite a preservação da identidade (rastreadibilidade).

Do ponto de vista legal, ainda existem muitas limitações por causa (i) da complexidade das normas vigentes, (ii) da falta de uma Política Nacional de Biossegurança (PNB) e (iii) da não completude das normas de biossegurança. A PNB deve-se constituir no instrumento-base que possibilite as ações e os procedimentos dos órgãos governamentais responsáveis pela autorização de funcionamento e fiscalização das atividades com OGMs, bem como servir de instrumento orientador para as empresas de biotecnologia e para a sociedade. Assim, é apropriado que a PNB inclua o Princípio da Precaução, com transparência, publicidade e controle social. Além disso, deve orientar como se darão as parcerias não só entre órgãos federais de vigilâncias (saúde, agricultura e meio ambiente), mas também entre estados e municípios. É fundamental, também, interagir com as demais legislações concorrentes.²²

Por sua vez, a complexidade da legislação brasileira a respeito do assunto é significativa. Além da própria Lei de Biossegurança (Lei nº 8974/95 e a Medida Provisória 2191-9/2001, que a modificou) existem outras leis que devem ser cumpridas ou concomitantemente ou em alguma fase do desenvolvimento do OGM, como é o caso da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6938/81), que norteou a

²² NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. & VALLE, S. Bases para uma Política Nacional de Biossegurança. *Jornal do Conselho Federal de Medicina Veterinária*, v. 3, n. 9, p. 3-4, 2002.

Resolução 305/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, os Estudos de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto no Meio Ambiente de atividades e empreendimentos com OGMs e seus derivados. Além disso, também já está normatizado, nas agências de vigilância dos Ministérios do Meio Ambiente, Saúde e Agricultura e Pecuária, o Registro Especial Temporário para OGMs com características de agrotóxicos, necessário para a fase de pesquisa e experimentação.

Outra lei que deve ser observada é o Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8078/90). Esta lei garante a todos os cidadãos o direito de escolha e a rotulagem.

Do ponto de vista do consumo, as limitações também são várias, pois os consumidores (i) em geral, são céticos com relação à segurança dos alimentos transgênicos ou alimentos que contêm ingredientes transgênicos; (ii) preferem os demais alimentos, especialmente os produzidos ecologicamente, em relação aos transgênicos; (iii) estão exigindo uma rotulagem plena e informações científicas a respeito dos efeitos na saúde; (iv) não têm nenhuma vantagem econômica.

Riscos das plantas transgênicas

Ao contrário das outras biotecnologias, a transgenia apresenta profundas implicações relacionadas aos possíveis riscos ao ambiente e à saúde humana, bem como representa impactos à diversidade cultural, aos aspectos sociais e econômicos, à ética e às relações de dominação política. O cultivo em larga escala de OGMs poderá provocar a disseminação de quimeras genéticas, cujos efeitos nos componentes dos ecossistemas são difíceis de estimar.

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 proporcionar vários 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 superplantas daninhas ou superpragas, a poluição genética, a erosão da diversidade genética e a interrupção da reciclagem de nutrientes e energia.

São muitos os possíveis danos ambientais quando se levam em conta os efeitos diretos ou indiretos, imediatos ou de longo prazo, previsíveis ou não intencionais.²³ Na prática, pode-se agrupar os riscos de acordo com os efeitos: alteração da dinâmica das populações, transferência de genes e contaminação de alimentos e do ambiente.

²³ 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. 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. BRITISH MEDICAL ASSOCIATION. *The impact of genetic modification on agriculture, food and health*. Londres: BMA, 1999, 18 p.

- ²⁴ LOSEY, J. E.; RAYOR, L. S. & CARTER, M. E. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, v. 399, p. 214, 1999.
- HANSEN JESSE, L. C. & OLBRYCKI, J. J. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*, v. 125, n. 2, p. 241. 2001.
- ²⁵ PHAM-DELEGUE, M. H. *Risk assessment of transgenic oilseed rape on the honeybee*. Paris: INRA, Laboratoire de neurobiologie comparée des invertébrés, 1997. p. 1-3.
- ²⁶ SAXENA, D.; FLORES, S. & STOTZKY, G. Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature*, v. 402, p. 480, 1999.
- ²⁷ XUE, D. *A summary research on the environmental impact of Bt cotton in China*. Greenpeace, 2002. 26 p.
- ²⁸ 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.
- 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.
- PENGUE, W. A. Impactos de la expansión de la soja en Argentina. Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: Un modelo para armar. *Biodiversidad*, v. 29, p. 7-13, 2001.
- ²⁹ XUE, D. *Op. cit.*
- ³⁰ 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.
- KREMER, R. J.; DONALD, P. A.; KEASTER, A. J. & MINOR, H. C. Herbicide

No grupo de alteração da dinâmica de populações estão incluídos os riscos já avaliados, cujos efeitos causam danos aos organismos não alvos, como mariposas²⁴; abelhas²⁵; microorganismos de solo²⁶; inimigos naturais das pragas, como as vespas e outras espécies²⁷; o favorecimento de uma ou mais espécies em detrimento de outras, como no caso de *Fusarium sp.* e de nematóides; o aumento da frequência de pragas e doenças resistentes ao efeito do transgene.²⁸

Nos cultivos de algodão *Bt*, investigadores chineses verificaram uma diminuição na população de inimigos naturais parasíticos e da diversidade de insetos em geral.²⁹ Experimentos realizados nos Estados Unidos com algodão e soja transgênica resistentes ao herbicida Roundup demonstraram que, depois de quatro anos de cultivo na mesma área, as variedades transgênicas mostraram maior susceptibilidade a ataques de nematóides e *Fusarium sp.*, respectivamente.³⁰ Além disso, a revisão de literatura feita por Wolfenbarger e Phifer³¹ indicou a existência de vários estudos comprovando os riscos e os possíveis danos aos diversos componentes de ecossistema.

Contudo, a área que mais recebe atenção neste momento é a de fluxo gênico. Fluxo gênico é a dispersão ativa ou passiva de genes via sementes, pólen ou partes clonais de uma planta dentro do meio ambiente. Os principais efeitos são: (i) efeitos dos transgenes no valor adaptativo das espécies afins; (ii) efeitos na dinâmica de populações; (iii) efeitos indiretos na comunidade (ecossistema) e (iv) efeitos na diversidade genética de espécies afins.

Os impactos ecológicos da transferência de pólen 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.³² 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. Estes autores relataram 11 casos de formação de híbridos entre variedades transgênicas e plantas aparentadas e/ou daninhas.

No caso do cruzamento entre canola transgênica e a mostarda silvestre, o número de sementes da segunda geração do híbrido foi dez vezes maior do que o F₁. Algumas plantas descendentes do cruzamento produziram 10 mil sementes e o gene de resistência ao herbicida ainda permanecia numa grande quantidade de plantas. Isto demonstra que a transferência de genes que condicionam resistência a herbicidas pode ocorrer com maior intensidade e facilidade do que se imaginava.³³

Impact on *Fusarium* spp. and Soybean Cyst Nematode in Glyphosate-Tolerant Soybean. [on-line] URL: http://www.asa-cssa-sssa.org/cgi-bin/abstract_database_search.cgi?objective=Kremer. 2000.

³¹ WOLFENBARGER, L. L. & PHIFER, P. R. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, v. 290, p. 2088-2093, 2000.

³² WOLFENBARGER, L. L. & PHIFER, P. R. *Op. cit.*

³³ CHÈVRE, A-M.; BARANGER, F. E. A. & RENARD, M. Gene flow from transgenic crops. *Nature*, v. 389, p. 924, 1998.

³⁴ SNOW, A.; MALLORY-SMITH, C.; ELLSTRAND, N.; HOLT, J.; QUEMADA, H. & SPENCER, L. Proceedings of Ecological and Agronomic Consequences of Gene Flow from Trans-genic Crops to Wild Relatives. Columbus: Ohio State University, 2002. 187 p.

³⁵ SNOW, A. *et. al.*, *Op. cit.*

³⁶ ELLSTRAND, N. C.; PRENTICE, H. C. & HANCOCK, J. F. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Annual Review of Ecology Systematics*. v. 30, p. 539-563, 1999.

³⁷ SYVADAN, M. Horizontal gene transfer: evidence and possible consequences. *Annual Review of Genetics*, v. 28, p. 237-261, 1994.

³⁸ 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.

³⁹ CHO, Y.; QIU, Y-L.; KUHLMAN, P. & PALMER, J. D. Explosive invasion of plan mitochondria by a group

Outros casos de hibridação foram apresentados e discutidos no Workshop “Ecological and Agronomic Consequences of Gene Flow from Transgenic Crops to Wild Relatives”. realizado em março de 2002, na Ohio State University Columbus, USA.³⁴ Na maioria das espécies estudadas, o valor adaptativo dos híbridos entre plantas transgênicas e parentes silvestres ou daninhas é menor ou igual ao das espécies receptoras do transgene. Isto significa que a baixa fecundidade da F_1 se constitui numa barreira temporária e incompleta na disseminação de transgenes.³⁵

Os poucos estudos associados à introgressão de transgenes e suas conseqüências ecológicas em populações naturais ainda não permitem fazer previsões confiáveis. Contudo, a experiência anterior com plantas de lavoura sugere que os efeitos negativos são possíveis. Para doze das treze espécies de maior importância econômica mundial, a hibridização com parentes selvagens contribuiu para a evolução de algumas espécies de ervas daninhas. Em alguns casos, os elevados níveis de introgressão a partir de parentes cultivados ou introduzidos eliminaram a diversidade genética e contribuíram para sua extinção.³⁶

Outra forma de disseminação do transgene é por transferência lateral ou transferência horizontal (transferência de genes entre indivíduos de espécies filogeneticamente diferentes, na ausência do acasalamento sexual), que ocorre entre espécies filogeneticamente diferentes, na ausência do acasalamento sexual.³⁷ Embora pouco estudada, já existem várias comprovações científicas da existência da mesma, cujos efeitos dependem do transgene. Experimentalmente, Nielsen *et al.*³⁸ verificaram que o DNA de beterraba transgênica pode ser transferido para *Acinetobacter* sp. cepa BD413, uma bactéria de solo. Neste caso, a transferência horizontal ocorreu de um extrato celular para plasmídeos de bactérias. Cho *et al.*³⁹ verificaram que um íntron do grupo I do genoma mitocondrial de plantas vasculares está amplamente disperso nos genes *cox1* das angiospermas. O referido íntron está presente em 48 gêneros diferentes, a partir de 32 eventos independentes de transferência horizontal. Diversos casos de absorção de DNA por parte de células eucariotas foram também registrados.⁴⁰ Num deles foi demonstrado que o DNA fornecido na alimentação de ratos não só não era totalmente destruído no trato gastrointestinal, mas também poderia alcançar a corrente sangüínea e temporariamente ser detectado nos leucócitos ou células do fígado.

I intron. *Proceedings of National Academy of Sciences*, v. 95, p. 14.244-14.249, 1998.

⁴⁰ TAPPESER B.; JÄGER, M. & ECKELCKAMP, C. *Survival, persistence, transfer: An update on current knowledge on GMs and the fate of the recombinant DNA*. Penang: TWN, 1999. 44 p.

⁴¹ 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.

KOHLI, A.; GRIFFITHS, S.; PALACIOS, N.; TWYMAN, R. M.; VAIN, P.; LAURIE, D. A. & CHRISTOU, P. Molecular characterization of transforming plasmid rearrangement in transgenic rice reveals a recombination hotspot in the CaMV promoter and confirms the predominance of microhomology mediated recombination. *The Plant Journal*, v. 17, n. 6, p. 591-601, 1999.

SCHMIDT, E. E.; TAYLOR, D. S.; PRIGGE, J. R.; BARNETT, S. & CAPECCHI, M. R. Illegitimate Cre-dependent chromosome rearrangements in transgenic mouse spermatids. *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, v. 97, p. 13.702-13.707, 2000.

⁴² 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.

⁴³ QUIST, D. & CHAPELA, I. H. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 414: 541-543, 2001.

⁴⁴ TIEDJE, J. M. *et. al.*, *Op. cit.* FONTES, E. G. *et. al.*, *Op. cit.* WOLFENBARGER, L. L. & PHIFER, P. R. *Op. cit.*

Embora não se conheça a magnitude da contribuição da engenharia genética para a transferência horizontal, é possível levantar a hipótese de que o cultivo em larga escala de plantas transgênicas deve favorecer a transferência horizontal. Geralmente, as plantas transgênicas contêm elementos mediadores da transformação *in vitro*, ou parte deles, e também da transferência horizontal, como plasmídeos, transposons e vírus. Todos estes elementos facilitam a recombinação,⁴¹ a instabilidade⁴² e a transferência de genes.

A contaminação genética causada por pólen transgênico já é considerada um problema relevante. Um caso no México e dois nos Estados Unidos merecem destaque. No primeiro houve a contaminação por transgenes de variedades crioulas e populações silvestres de milho, no centro de origem desta espécie.⁴³ Em 2000, nos Estados Unidos, foi detectada, em produtos para consumo humano, uma proteína codificada por um transgene presente na variedade transgênica de milho StarLink, sem a informação pertinente no rótulo. Esta variedade foi liberada apenas para consumo animal, por ter um transgene cuja proteína é potencialmente alergênica à espécie humana. Também ocorreu contaminação nas lavouras de milho de outras variedades, plantadas na vizinhança, cujos grãos também foram comercializados para diferentes propósitos sem nenhuma identificação relacionada à transgenia. A segunda ocorreu dois anos depois. Ordenada pela Secretaria de Agricultura, ProdiGene Inc, uma companhia biotecnológica foi obrigada a destruir 155 acres de milho transgênico, engenheirado para produzir insulina, em Iowa, porque a lavoura poderia ter contaminado outras lavouras vizinhas (*New York Times*, 14/11/2002). Anteriormente, plantas transgênicas de milho da mesma empresa cresceram junto à lavoura de soja após a colheita do milho. Duas conseqüências são imediatas: (i) conflitos entre agricultores e empresas ou entre os próprios agricultores e (ii) a alteração da natureza do produto, que conforme o caso, pode causar prejuízos financeiros e biológicos.

Assim, considerando a falta de controle após a inserção do gene quimérico numa espécie, antes da liberação em larga escala de um cultivar transgênico, deve-se realizar um estudo de impacto ambiental que inclua a avaliação de riscos, e isto deve ser feito caso a caso⁴⁴ e passo a passo.⁴⁵ 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 sócio-economia.⁴⁶

⁴⁵ NODARI, R. O. & GUERRA, M. P. *Op. cit.*, 2001.

⁴⁶ 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 [on-line] URL: <http://www.consecol.org/vol4/iss1/art13>. 2000.

⁴⁷ LEWONTIN, R. *It ain't necessarily so* – The dream of the human genome and other illusions. New York: New York Review Books, 2000. 330p.

Considerações finais

A obtenção de plantas transgênicas decorre principalmente dos avanços no conhecimento sobre a genética de procariotos. Esta evolução, desde 1928, ocorreu de forma acentuada e progressiva, gerando processos e produtos associados à chamada revolução biotecnológica.

Se por um lado essas técnicas acenam para a resolução de uma série de problemas e o desenvolvimento de novos e inúmeros produtos, por outro lado, trazem embutidas preocupações relacionadas com a biossegurança. Uma hipótese a ser considerada é que tanto a manipulação de DNA quanto os mecanismos de regulação gênica que operam em procariotos são muito mais conhecidos e dominados pelo homem do que em eucariotos. Assim, o sucesso no isolamento, construção de moléculas quiméricas e sua transferência para organismos eucariotos são feitos com base no conhecimento de procariotos. Contudo, os mecanismos que operam após a transferência da construção quimérica, incluindo a inserção, as interações e a expressão, são de uma complexidade ainda não compreendida na sua totalidade. Como decorrência, é razoável supor que o insucesso no controle dos genes inseridos pode ser atribuído ao insuficiente conhecimento da genética, bioquímica e fisiologia dos eucariotos. Desta forma, a tecnologia estaria na frente dos avanços do conhecimento básico.

O problema da biologia é que, em contraste com outros ramos do mundo físico, nos quais poucas grandes forças dominam os fenômenos, o organismo vivo é resultante de um grande número de caminhos fracos causais determinantes, fazendo com que seja extremamente difícil proporcionar explicações completas.⁴⁷ Segundo este autor, um organismo vivo num momento qualquer de sua vida é a consequência única da história do desenvolvimento que resulta de interações e determinações de forças internas e externas. Estas forças externas, que usualmente pensamos como ambiente, são parcialmente consequências do próprio organismo. Os organismos não encontram o mundo onde se desenvolvem, mas o fazem. Reciprocamente, as forças internas não são autônomas, mas agem em resposta às externas.

Assim, por se tratar de uma nova tecnologia e considerando o reduzido conhecimento científico a respeito dos riscos 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.

⁴⁸ 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.

⁴⁹ NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Environmental Impacts. *Environmental Effects of Transgenic Plants: The Scope and Adequacy of Regulation*. Washington, D. C.: National Academies Press, 2002, 320 p.

⁵⁰ TRAAVIK, T. *Op. cit.*

Rubens Onofre Nodari é agrônomo, doutor em Genética e professor do Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina.

nodari@cca.ufsc.br

Miguel Pedro Guerra é agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal e professor do Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina.

mpguerra@cca.ufsc.br

O relatório do Governo da Noruega, divulgado em 1999, denominado *Too early maybe too late: ecological risks associated with the use of naked DNA as a biological tool for research, production and therapy*, concluiu que qualquer OGM deve sofrer avaliação de impacto ambiental antes de ser liberado. Este relatório refuta a idéia de que a transgenia em plantas é similar ao melhoramento genético convencional, porque introduz novos genes exóticos e cria recombinações não naturais cujas localizações no genoma do organismo são imprevisíveis. Isto pode resultar em efeitos imprevisíveis no metabolismo, fisiologia e bioquímica do organismo receptor.⁴⁸

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. Assim, não só a certeza científica, mas também as incertezas devem ser levadas em consideração quando a espécie humana ou o meio ambiente estão envolvidos.

Segundo o relatório do National Research Council dos EUA⁴⁹, a expressão “não há evidência”, comumente utilizada pelas autoridades e cientistas americanos e brasileiros, mesmo sob crítica, não deveria ser mais utilizada quando da análise de biossegurança de produtos para a alimentação. Anteriormente esta crítica já havia sido feita por Traavik⁵⁰ quando afirmou que “a ausência de evidência nunca é a evidência da ausência”.