

IMPORTÂNCIA DOS TRANSGÊNICOS PARA A AGRICULTURA

Afonso Celso Candeira Valois⁽¹⁾

RESUMO

Este artigo refere-se às amplas possibilidades do uso de plantas transgênicas na agricultura, como alternativa para vencer desafios ligados ao aumento da produção e da produtividade, controle de pragas e doenças, melhoria da qualidade dos produtos e busca de medicamentos mais acessíveis, baratos e de fácil aplicação. Apresenta uma discussão sobre os métodos de obtenção e aplicabilidade da utilização de plantas transgênicas em diversas situações e em diferentes nichos ecológicos. Chama a atenção para as condições em que os genes exógenos devem ser usados em programas de melhoramento genético de plantas, além de enfatizar a necessidade da avaliação do risco por meio da análise das plantas transgênicas quanto à saúde alimentar e a segurança ambiental, antes da sua liberação para consumo.

Palavras-chave: tecnologia de DNA recombinante, plantas transgênicas, melhoramento genético, saúde alimentar, segurança ambiental.

THE IMPORTANCE OF TRANSGENICS FOR AGRICULTURE

ABSTRACT

The present article makes reference to the possible wide use of transgenic plants in the agriculture to overcome challenges of production and productivity increases, pest and disease control, quality improvement, and production of pharmaceutical products more accessible for consumers, with cheap price and easy to use. It includes a discussion about the obtainment methods and utilization of transgenic plants in several situations and different ecological niches. It also calls attention for the conditions where the exotic genes can be used in plant breeding programs, and is emphatic to the risk assessments in relation to health food and environmental security, before the release for consumption.

Key words: recombinant DNA technology, transgenic plants, plant breeding, health food, and environmental security.

⁽¹⁾ Eng^o Agr. PhD, Embrapa Sede, Caixa Postal 040315, CEP – 70770-900 Brasília – DF.
E-mail: valois@sede.embrapa.br

INTRODUÇÃO

De maneira geral, o melhoramento genético de plantas tem-se constituído na solução mais curta, econômica e duradoura para o encontro da sustentabilidade da agricultura. Mesmo assim, os esquemas usuais de cruzamento e seleção de genótipos precisam ser refinados cada vez mais a fim de torná-los mais diretos e menos aleatórios no processo de obtenção de indivíduos com características adequadas. A descoberta das leis da hereditariedade, bem como da natureza química do material genético, e a decifração do código genético foram condições primordiais para o surgimento da biotecnologia moderna que, por meio do desenvolvimento de métodos refinados com o uso de técnicas de biologia molecular permitiram a manipulação do material genético, hoje conhecida como tecnologia do DNA recombinante ou engenharia genética.

Os pioneiros desta nova maravilha da ciência foram os pesquisadores americanos Stanley Cohen e Herbert Boyer, que, em 1973 conseguiram introduzir o gene de uma rã no interior de uma bactéria (Gander et al., 1996). Esta grande façanha técnico-científica trouxe um enorme alento para o melhoramento genético de plantas por possibilitar a sobreposição da barreira do isolamento reprodutivo dentro e entre reinos, facilitando a busca de caracteres desejáveis no fitomelhoramento.

Assim, surgiram as plantas que carregam em seu genoma a adição de DNA oriundo de uma fonte diferente do germoplasma paternal, denominadas de transgênicas. Estes genótipos melhorados por meio de técnicas modernas que usam *Agrobacterium*, biobalista, eletrosporação e outros, referem-se, principalmente, a cultivares de milho, algodão, soja, colza, feijão, mamão, tomate, batata e arroz, dentre outras, com consistentes características de resistência a pragas e doenças, além de tolerância a herbicidas. Isto fez com que atualmente no mundo sejam explorados mais de 42 milhões de hectares com o agronegócio desses indivíduos, que em 2000 rendeu mais de 2,5 bilhões de dólares. O próximo passo é o fortalecimento do processo de geração de novas cultivares quanto à melhoria da qualidade de produtos como óleo e fibras, bem como a obtenção de plantas biorreatoras produtoras de anticorpos contra gripe, câncer e hepatite, por exemplo.

No entanto, mesmo considerando esta enorme vantagem comparativa e competitiva de obtenção de amplos ganhos genéticos de seleção de genótipos, deve-se levar em conta que, antes da sua distribuição, os organismos transgênicos

têm que ser submetidos a seguros procedimentos de biossegurança, com descarte daqueles indivíduos que, porventura, possam vir a atentar contra a qualidade de vida, saúde dos consumidores ou causar malefícios ao meio ambiente.

As principais vantagens que as técnicas de engenharia genética e os próprios transgênicos podem proporcionar ao melhoramento genético de plantas são as seguintes: 1) aumento da produção e da produtividade com redução de custos; 2) alternativa para a comercialização de produtos agrícolas; 3) melhor controle ambiental especialmente pela redução ou extinção do uso de agrotóxicos; 4) incremento da capacidade comparativa e competitiva na comercialização de produtos agrícolas diante de um mercado globalizado; 5) possibilidade da análise acurada dos produtos transgênicos para a total segurança alimentar e ambiental; 6) busca de caminhos alternativos para bem informar os produtores e consumidores sobre a origem dos transgênicos; 7) aumento da variabilidade genética pela inserção de genes exógenos em genomas funcionais; 8) proporcionar maior velocidade na geração de novas cultivares; 9) tornar os programas de melhoramento genético direcionados adequadamente; 10) promover melhores condições para vencer impedimentos de ordem biótica e abiótica; 11) facilitar a exploração de condições ecológicas adversas pelo direcionamento da criação de novos genótipos adaptados; 12) inteligente meio para transpor as atuais barreiras de dificuldade de importação de relevantes recursos genéticos de seus centros de origem localizados em outros países, pois os genes exógenos podem exteriorizar semelhantes respostas fenotípicas de penetrância e expressividade em relação aos genes endógenos; 13) proporcionar o uso de alternativas genotípicas desejáveis não encontradas com facilidade na natureza; 14) melhoria da qualidade dos produtos agrícolas; 15) plena abertura de oportunidades para evitar o aparecimento de monopólios ou oligopólios na produção de sementes melhoradas e 16) consistente alternativa para contribuir com a mitigação ou extinção da fome, pobreza e miséria absoluta que assolam cerca de 18% da população mundial.

A um país em pleno desenvolvimento como o Brasil, possuidor de vasta biodiversidade, recursos genéticos, biotecnologias, infra-estrutura, equipes competentes, ampla capacidade competitiva no ramo do agronegócio e a sublime vontade de fazer, cabe ir em frente em ciência e tecnologia e em pesquisa e desenvolvimento, para encontrar a tão procurada auto-suficiência e a redução ou mesmo extinção de dependências externas, em benefício da sociedade.

O melhoramento genético de plantas, agora bem fortalecido com refinadas ferramentas biotecnológicas diante de um rico manancial de genomas tropicais funcionais, traduz-se em um dos principais fulcros para o desenvolvimento de uma agricultura saudável e competitiva. Nesse sentido, os organismos transgênicos podem se constituir na nova face feliz do Brasil!

PLANTAS TRANSGÊNICAS

O Brasil é um dos países com o maior potencial para a geração de plantas transgênicas, pois, entre as nações detentoras de megadiversidade biológica, é aquela mais rica em plantas, animais e microrganismos por possuir cerca de 20% do total existente no planeta. Somente para o caso de plantas superiores, o Brasil tem cerca de 55 mil espécies, o que corresponde ao redor de 21% do total de 267 mil espécies já classificadas em todo o mundo. Esta alta concentração de genótipos revela o elevado número de genes tropicais e genomas funcionais, com cerca de 16,5 bilhões de genes. Em complementação a essa riqueza in situ, o País é possuidor de um largo acervo de genótipos conservados ex situ, com mais de 250 mil acessos de recursos genéticos disponíveis para a prospecção molecular e a utilização em programas de melhoramento genético e em outras ciências afins (Valois, 1998).

Para o desenvolvimento de plantas transgênicas, a Embrapa, por exemplo, tem considerado quatro pontos fundamentais na esperança de moldar um suporte alternativo e interativo de sustentação da agricultura comercial e social do País, reconhecendo que a obtenção de transgênicos é apenas mais um método de melhoramento genético quando são exauridas as possibilidades de melhoramento convencional, em que a precaução é sempre posta em evidência, sem se constituir em panacéia para resolver todos os problemas de abastecimento de alimentos do mundo. Esses pontos são os seguintes: a) desenvolvimento tecnológico apropriado, com a excelência do uso da tecnologia do DNA recombinante, para o desenvolvimento de plantas não apenas com resistência a condicionantes bióticos e tolerância a fatores abióticos, mas também para a melhoria das qualidades dos produtos e atuação em benefício da saúde dos consumidores pela produção de fármacos e vacinas; b) colocação em prática dos princípios da biossegurança, considerando as normas e conceitos da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio –, que é o colegiado oficial composto por representantes de diversas camadas sociais do País. Com

a finalidade de fortalecer ainda mais esses princípios de inteira justiça aos consumidores em especial, a Embrapa está se preparando para analisar os seus próprios produtos transgênicos sob o ponto de vista da segurança alimentar e ambiental; c) comercialização, em que a geração de transgênicos, os testes de avaliação preliminares e avançados, a economia de escala dentro da cadeia produtiva do agronegócio, a comercialização e a socialização do uso de transgênicos têm o pleno acordo da Empresa, desde que não causem prejuízos à saúde dos consumidores e ao meio ambiente, embora nos mais de 42 milhões de hectares explorados naqueles países onde é possível o plantio de transgênicos, com milhões de pessoas consumidoras, não tenha ocorrido qualquer limitação de saúde alimentar. Os produtos transgênicos foram primeiramente comercializados na China, em 1990, usando fumo e tomate resistentes a vírus. Em 1994, os Estados Unidos comercializavam tomate transgênico com excelentes características de maior período de conservação; d) plena informação aos consumidores, como um ponto crucial; a Embrapa é inteiramente a favor de que os usuários dos produtos transgênicos sejam informados de alguma forma sobre a procedência dos insumos colocados a sua disposição para o consumo, com o pleno exercício do direito de escolha também envolvendo produtos não-transgênicos. A Empresa tem a consciência de que a novidade, o desconhecimento sobre esse novo método de criação de plantas, além de outros fatores não bem definidos, têm conduzido setores da sociedade a questionar o uso de plantas transgênicas, daí a enorme necessidade da efetuação de todos os esclarecimentos possíveis.

A Embrapa tem avançado na geração de plantas transgênicas, seguindo os métodos mais modernos e próprios, com a grande vantagem do uso de germoplasma do seu grande acervo, adaptado às condições ecológicas do nosso País. Esses trabalhos têm envolvido os seguintes produtos: a) feijão com resistência a vírus e insetos e tolerância a herbicidas; b) soja com resistência a insetos, tolerância a herbicidas, produção de hormônio de crescimento e insulina; c) algodão com resistência a insetos e tolerância a herbicidas; d) batata com resistência a vírus; e) mamão com resistência a vírus e fungos; f) banana com resistência a fungos; g) cacau com resistência a fungos; h) café com resistência a insetos; i) arroz para redução da altura; j) alfaca para obtenção de planta biorreatora para produção de vacina contra a doença leishmaniose e l) milho para a melhoria da qualidade protéica, sempre considerando a independência e não exclusividade, em atenção ao particular interesse da sociedade brasileira.

Os genótipos já gerados atualmente estão passando pelos processos de análise da segurança biológica. Enquanto isso, outras instituições brasileiras têm desenvolvido esforços para a geração de genótipos transgênicos de cana-de-açúcar, eucalipto, cacau, soja, milho, arroz e algodão.

No referente à ação das plantas transgênicas na saúde e na segurança alimentar humana, como já foi mencionado, hoje mais de 42 milhões de hectares vêm sendo cultivados com transgênicos, sobretudo, em nove países (Estados Unidos, Canadá, Argentina, Austrália, México, China, África de Sul, França e Espanha), e não se tem notícia de que foi encontrado qualquer problema de saúde entre milhões de pessoas que ingeriram ou estão ingerindo as plantas transgênicas ou seus produtos. No entanto, existem algumas suposições quanto ao efeito alergênico de alguns produtos transgênicos, como aqueles que carregam a construção 2S da castanha-do-brasil, bem como resistência a antibióticos por aquelas pessoas consumidoras em face da técnica do uso de genes com resistência a antibióticos como a canamicina, no processo de transformação e seleção *in vitro* de plantas transgênicas. O primeiro caso é merecedor de toda atenção, como aconteceu, por exemplo, com o feijão que vinha sendo obtido pela Embrapa, que continha o gene que codifica para a proteína 2S rica em metionina (aminoácido essencial para a alimentação humana) da castanha-do-brasil e que foi descartado. Nesta situação foi usada como precaução a suposição de esse gene poder causar alergia àquelas pessoas que viessem a consumir o feijão transgênico e que também sentiam esse mal ao se alimentarem da castanha-do-brasil. No segundo caso, desde o advento do uso da tecnologia do DNA recombinante, os pesquisadores têm usado genes de resistência a antibióticos como marcadores seletivos no processo de modificações genéticas. Têm havido citações quanto à possibilidade do alastramento do uso desses genes em plantas, que poderia dar margens ao aumento do nível de resistência a patógenos que causam doenças em pessoas. A canamicina, um dos marcadores usados nos processos de transformação genética de plantas, é também empregada no tratamento de diversas infecções humanas. Supõe-se que as pessoas que venham a consumir as plantas transgênicas obtidas com o auxílio dos genes que conferem resistência à canamicina também possam ganhar resistência a medicações com esse antibiótico. No entanto, atualmente os cientistas estão de posse de informações técnico-científicas que afastam essa possibilidade, bem como de meios técnicos que conduzem à remoção desses genes marcadores antes de a planta transgênica vir a ser empregada para uso

comercial ou social. Há fortes evidências de que trabalhos para a remoção de todos esses marcadores das plantas transgênicas estão em franca evolução. Os pesquisadores pretendem ainda utilizar marcadores alternativos para a seleção de novas variedades transgênicas sem o emprego de antibióticos. Trata-se de pôr em prática a precaução, bastante comum no meio dos melhoristas de plantas transgênicas e não-transgênicas.

Deve-se enfatizar que compete à CTNBio solicitar estudos relacionados com a segurança ambiental e alimentar de todo e qualquer produto transgênico, de acordo com a Lei de Biossegurança e seus decretos regulamentares. Vale ressaltar que os procedimentos e mecanismos utilizados pela CTNBio são rígidos e competentes, servindo também de modelo para outros países (Valois et al., 1999). Recentemente, essa Comissão passou por um processo de realinhamento por meio da Medida Provisória nº. 2.137, de 28 de dezembro de 2000, refinando ainda mais a sua ação complementar.

PLANTAS TRANSGÊNICAS E AGRICULTURA

Levando-se em conta a estimativa de que por volta do ano 2030 a população mundial será em torno de 8 bilhões de pessoas, com a grande maioria vivendo nas cidades urbanas, vários aspectos têm sido considerados quanto ao emprego das plantas transgênicas na agricultura, como alternativa à segurança alimentar dos povos. Um recente relatório preparado sob os auspícios das Academias de Ciência do Brasil, Estados Unidos, Inglaterra, Índia, México e do Terceiro Mundo aponta as reais possibilidades e importância das plantas transgênicas na agricultura mundial, cujos principais aspectos estão a seguir alinhados, com dados adicionais acrescentados pelo autor deste artigo:

a) Oportunidades

- Por meio da ciência, foi desenvolvido o mais completo entendimento sobre o meio ambiente natural, melhoria da saúde humana com o emprego de novos medicamentos, e descobertos genes de plantas específicos para controlar outros efeitos bióticos e abióticos.
- Vários termos são usados para descrever a forma da biotecnologia da geração de transgênicos, que são os seguintes: engenharia genética, transformação genética, tecnologia de transgênico, tecnologia de DNA recombinante e tecnologia de modificação genética.

- Representantes de sete Academias de Ciência no mundo, juntos, oferecem recomendações para o desenvolvimento de organismos transgênicos (Estados Unidos, Inglaterra, Brasil, China, Índia, México e do Terceiro Mundo).
- Alimentos podem ser produzidos por meio da tecnologia do DNA recombinante, sendo mais nutritivos, estáveis no armazenamento e, em princípio, mais saudáveis, trazendo benefícios para os consumidores tanto nos países industrializados como naqueles em desenvolvimento, ou mesmo em transição.
- Esforços cooperativos entre os setores públicos e privados são necessários para o desenvolvimento de novas culturas transgênicas em benefício dos consumidores, sobretudo em países emergentes.
- Nos dias atuais há cerca de 800 milhões de pessoas no mundo que não têm acesso a alimento suficiente para satisfazer as suas necessidades. Deficiências em micronutrientes, em especial em vitamina A, iodo e ferro, são também generalizadas.
- Significativos avanços são requeridos para a produção de alimentos, distribuição e acesso visando ao suprimento dessas necessidades. Muitos desses avanços podem advir da tecnologia de obtenção dos não-transgênicos, mas outras virão das vantagens oferecidas pela tecnologia dos transgênicos.
- Para conseguir o mínimo crescimento necessário da produção total de culturas alimentares globais como milho, arroz, trigo, mandioca, inhame, sorgo, batata e batata-doce sem adicional aumento da área cultivada, será preciso substancial aumento na produtividade. Aumentos de produtividade são também necessários para outras culturas como hortaliças, millet, algodão, bananas e plátanos.
- Usando o estoque da variabilidade genética por meio da seleção e do melhoramento, a Revolução Verde produziu diversas variedades que hoje são usadas em todo o mundo. Um bom exemplo desse melhoramento seletivo foi a introdução de genes anões em arroz e trigo, que, associados com a aplicação de fertilizantes, aumentou substancialmente a produção de culturas tradicionais no subcontinente indiano, China e outros locais. No entanto, ainda existem pesadas perdas de culturas decorrentes de estresses causados por fatores bióticos (doenças e pragas) e abióticos (salinidade e seca).

- A agricultura moderna aumentou a produção de alimentos, mas também introduziu o uso em larga escala, de pesticidas e fertilizantes que são caros e podem, potencialmente, afetar a saúde humana e causar danos aos ecossistemas.
- As pesquisas com plantas transgênicas, bem como o melhoramento tradicional e a seleção realizada por fazendeiros objetivam, seletivamente, alterar, adicionar ou remover o caráter de escolha em uma planta. A tecnologia do DNA recombinante visa possibilitar o melhoramento de características desejáveis de variedades de plantas relacionadas ou não. Daqui para frente, as plantas transgênicas podem se tornar em patrnais para uso no melhoramento genético tradicional.
- Plantas transgênicas, com características importantes como resistência a doenças, pragas e herbicidas, são mais necessárias onde estas vantagens não forem encontradas em espécies locais (não-transgênicas).

b) Transgênicos e Benefícios para a Agricultura

- A tecnologia de DNA recombinante é usada para a produção de variedades de plantas com sucesso comercial e social, tendo sido obtidas frutas e hortaliças com resistência a insetos e viroses, além de tolerância a herbicidas.
- As tecnologias de transgênicos utilizadas atrasam a maturação de frutas e hortaliças, permitindo, assim, o aumento do período de armazenamento. Os consumidores poderiam se beneficiar com a disponibilidade de frutas e hortaliças, como tomates transgênicos que se tornam maduros mais vagorosamente em relação às variedades tradicionais, que possibilitam maior flexibilidade na distribuição em relação às variedades tradicionais. Em muitos casos, os produtores têm pesadas perdas com os produtos obtidos nas fazendas devido à incontrolável maturação e maciez das frutas e hortaliças.
- **Resistência a pragas:** há um claro benefício para os produtores se as plantas transgênicas forem desenvolvidas para resistência a pragas específicas. Por exemplo, o mamão resistente a *Ring Spot Virus* é comercializado no Havaí desde 1996. Culturas transgênicas com resistência a insetos, contendo genes de Bt, têm ocasionado uma drástica redução da aplicação de agrotóxicos na agricultura dos Estados Unidos.

No entanto, deve ser também entendido que as populações de patógenos responsáveis por pragas e doenças da agricultura dos transgênicos podem ganhar resistência com o passar do tempo.

- Cultivares transgênicas com resistência a insetos desenvolvidas para uso nos Estados Unidos e Canadá, por exemplo, podem ser resistentes a outras pragas que antes não eram preocupação dos melhoristas, mas que são limitantes da agricultura em países em desenvolvimento. Isto também é válido para cultivares não-transgênicas.
- Mesmo onde os mesmos genes para resistência a insetos e herbicidas são de utilidade em diferentes regiões, esses genes necessitarão ser introduzidos em cultivares adaptadas *in loco*. São necessárias mais pesquisas sobre plantas transgênicas para resistência a pragas endêmicas (específicas de locais) para permitir a sustentabilidade, devido ao aumento da pressão de seleção para pragas mais violentas.
- **Melhoramento da produção:** um dos grandes sucessos da Revolução Verde foi o desenvolvimento e o uso de variedades de trigo semi-anãs. Os 10 genes responsáveis pela redução da altura do trigo foram introduzidos nessa planta nos anos de 1950 (genes para nanismo insensíveis à Giberelina). Esses genes possibilitam dois benefícios: a) produzem plantas baixas e vigorosas que podem responder positivamente à aplicação de pesada quantidade de fertilizantes sem mostrarem colapso (queimaduras, por exemplo) e b) aumento da produção pela redução do alongamento das células nas partes vegetativas das plantas, além de permitirem que a partição de energia nas plantas seja de maior investimento nas partes reprodutivas, que são usadas como alimentos. Recentemente, estes genes foram isolados e ficou demonstrado que podem atuar no mesmo sentido, se usados na transformação de outras espécies. Esta técnica de obtenção de plantas anãs pode agora ser potencialmente usada para o aumento de produção e produtividade de muitas culturas, em que a produção econômica está na parte reprodutiva e não na parte vegetativa.
- **Tolerância a estresses bióticos e abióticos:** o desenvolvimento de cultivares com resistência a condicionantes bióticos e abióticos ajuda a estabilizar a produção anual. Por exemplo, o *Rice Yellow Mottle Virus* (RYMV) tem devastado a grande maioria dos cultivos de arroz na África

ou causado um efeito secundário na maioria, por torná-la suscetível a infecções causadas por fungos. As abordagens convencionais para controlar o RYMV, usando os métodos tradicionais de melhoramento, têm falhado na ânsia de introduzir resistência de espécies selvagens em cultivares de arroz. A tecnologia de DNA recombinante pode ser da maior utilidade neste caso. Numerosos outros exemplos podem ser dados para ilustrar a amplitude da pesquisa científica corrente, incluindo plantas transgênicas para combater o *Ring Spot Virus* do mamão, bem como para controlar a requeima da batata.

- **Uso de áreas marginais:** uma vasta área do globo terrestre é considerada marginalizada devido à excessiva ocorrência de salinidade. Foram identificados genes em mangue (*Avicennia marina*) com tolerância ao sal, clonados e transferidos para outras plantas – as plantas transgênicas demonstraram ser tolerantes a altas concentrações de sal. O gene *gutD* de *Escherichia coli* é usado para gerar plantas transgênicas de milho com tolerância ao sal. Esses genes são uma fonte potencial para o desenvolvimento de sistemas agrícolas para áreas marginalizadas.
- **Benefícios nutricionais:** a deficiência em vitamina A causou a cegueira total em cerca de 500 milhões de crianças em todo o mundo. Como os métodos tradicionais de melhoramento genético não alcançaram sucesso na produção de variedades com alta concentração dessa vitamina, pesquisadores introduziram três novos genes em arroz (um da planta Narciso e dois oriundos de bactéria). O arroz transgênico exibiu uma aumentada produção de beta-caroteno que é um precursor da vitamina A, cujas sementes apresentam-se bronzeadas. Este arroz bronzeado (amarelo ou ouro) pode contribuir para a salvação de crianças nos trópicos.
- A fortificação em ferro é requerida pelo fato de os grãos de cereais serem deficientes em micronutrientes essenciais como o próprio ferro. A deficiência em ferro causa anemia em mulheres grávidas e crianças, fator que contribui com mais de 20% das mortes maternas. O arroz transgênico, com elevados níveis de ferro, é produzido com genes envolvidos na produção de uma proteína *iron-binding* e produção de uma enzima que facilita a disponibilidade de ferro para a dieta humana. Essas plantas contêm de 2 a 4 vezes o nível de ferro normalmente encontrado em arroz não-transgênico, cuja forma de disponibilidade de ferro necessita de profundos estudos adicionais.

- **Redução do impacto ambiental:** a disponibilidade e o eficiente uso da água tornaram-se uma necessidade mundial. Solos utilizados para o cultivo extensivo para o controle de plantas daninhas e preparo de sementeiras favorecem a erosão, além de possibilitar séria perda do conteúdo de água. Baixo sistema de cultivo tem sido usado por inúmeros anos nas comunidades tradicionais. É necessário desenvolver culturas sob essas condições, incluindo a introdução de resistência a doenças de raízes corretamente controladas pelo manejo e preparo do solo e por herbicida que pode ser usado como substituto desse processo. Aplicações em países mais desenvolvidos mostram que organismos transgênicos oferecem uma ferramenta útil para a introdução de resistência a doenças de raízes para as condições de cultivo mínimo. No entanto, as diferenças regionais em sistemas agrícolas e o impacto potencial de substituição da cultura tradicional por uma variedade transgênica precisam ser profundamente avaliados.
- **Outros benefícios das plantas transgênicas:** as primeiras gerações de variedades transgênicas beneficiaram inúmeros produtores, reduzindo os custos de produção e proporcionando altas produções, ou ambos. Em muitos casos, houve ainda o benefício ao meio ambiente em face da drástica redução da aplicação de pesticidas, oferecendo os meios para o crescimento de culturas com menor ação sobre o solo. O pleno desenvolvimento de plantas transgênicas, no presente e no futuro, permite menor volume de aplicação de pesticidas na agricultura, restrição quanto ao registro de promissores pesticidas e, conseqüentemente, menor impacto ao meio ambiente. Genes para resistência a pragas e doenças cuidadosamente inseridos em cultivares para evitar, no futuro, resistência de patógenos, dão oportunidades alternativas para reduzir o uso de pesticidas químicos em inúmeras importantes culturas. Também, diminui a contaminação dos alimentos por patógenos que causam problemas de segurança alimentar como micotoxinas, resultando em grande benefício para produtores e consumidores.
- **Fármacos e vacinas a partir de plantas transgênicas:** as vacinas estão disponíveis para o controle de inúmeras doenças que causam morte indiscriminada ou desconforto humano em países em desenvolvimento. Mas, são dispendiosas tanto para a sua produção como para o seu uso. A maioria das vacinas tem que ser conservada em refrigeradores e

administrada por especialistas treinados, o que as encarecem ainda mais. Também, o preço das agulhas para a aplicação das vacinas é um grande empecilho em muitos países, tornando inviável o seu uso. Como resultado, freqüentemente, as vacinas não alcançam a grande maioria das necessidades. Pesquisadores, correntemente, investigam o potencial de plantas transgênicas para a produção de vacinas e fármacos. Isso poderia permitir o acesso a baixo custo, além de um caminho alternativo para a geração de renda. Vacinas contra doenças infecciosas gastrintestinais têm sido produzidas com plantas como batata e banana. Os cereais de grão podem ser outros meios de produção de vacinas. Um anticorpo anticâncer recentemente foi expressado em sementes de arroz e trigo, que reconhece células de câncer do pulmão, do seio e do colo do útero, e que poderia ser utilizado, no futuro, tanto para o diagnóstico como para a terapia dessas doenças. Essas tecnologias, em um estágio bem inicial, obviamente referem-se à saúde humana e à segurança ambiental, e, durante a sua produção, precisam ser pesquisadas antes de serem aprovadas como culturas especiais. De todo modo, o desenvolvimento de plantas transgênicas para a produção de agentes terapêuticos possui imenso potencial para auxiliar na resolução de problemas de doenças em países em desenvolvimento. Cerca de 1/3 dos medicamentos hoje utilizados são oriundos de plantas, sendo a Aspirina o mais famoso exemplo (uma forma acetilada de um produto natural advindo de planta, o ácido salicílico). Recentemente, pesquisadores da Universidade de Cornell (EUA) deram um grande passo para transformar plantas em “fábrica” de vacinas. Eles conseguiram modificar a batata, que contém uma proteína do vírus da Hepatite B, e produzir anticorpos contra esse vírus na corrente sanguínea de camundongos que foram alimentados com esses tubérculos. Vale ainda mencionar a recente e notável geração de galinha transgênica destinada à cura do câncer por meio do consumo dos seus ovos.

c) Plantas Transgênicas na Saúde e na Segurança do Homem

- Por meio das técnicas clássicas de melhoramento genético, as cultivares atuais tornaram-se significativamente diferentes dos seus parentes silvestres. Muitas dessas culturas eram originalmente menos produtivas e não adequadas para o consumo humano. Ao longo dos anos, os programas de melhoramento genético dessas culturas resultaram em plantas mais produtivas e nutritivas. Quanto aos transgênicos, existem

algumas preocupações potenciais quanto ao efeito alergênico de alguns produtos, como aqueles que carregam a construção 2S da castanha-do-brasil, bem como da resistência a antibióticos daquelas pessoas consumidoras em face da técnica do uso de genes com resistência a antibióticos como a canamicina, no processo de transformação e seleção de plantas transgênicas. Para o primeiro caso, trata-se de um assunto que merece atenção, enquanto que para o segundo já estão disponíveis técnicas que evitam a adoção daqueles genes que conferem resistência a antibióticos. Para o caso da alergia, todo esforço tem que ser empreendido para evitar a introdução, em plantas alimentícias, de fontes conhecidas causadoras de reações alérgicas em consumidores.

- Uma grande vantagem da tecnologia de obtenção de transgênicos é permitir a introdução de um ou de poucos genes bem definidos, em vez de todo o genoma ou parte do número de cromossomos, como usualmente é feito no melhoramento genético tradicional. Isso conduz à realização de testes de toxicidade para a obtenção de plantas transgênicas mais direcionadas do que para a obtenção de plantas não-transgênicas, em virtude de ser mais clara a detecção de novas características em plantas modificadas. A tecnologia de transgênicos pode, também, introduzir genes de diversos organismos, muitos dos quais possuem pouca história quanto ao suprimento de alimentos.
- O potencial de toxicidade e alergenicidade em consumidores humanos de transgênicos deve ser pesquisado para qualquer outra nova proteína produzida de plantas, com possibilidade de se tornar alimento. Qualquer perigo para a saúde advindo de alimentos, bem como as formas de seu controle devem ser prioridades em todos os países, mesmo não considerando qualquer preocupação quanto ao uso de transgênicos.
- Desde o advento da tecnologia de DNA recombinante, os pesquisadores usam genes de resistência a antibióticos como marcadores seletivos no processo de modificações genéticas. É significativa a preocupação com a possibilidade do alastramento do uso desses genes em plantas que poderiam dar margem ao aumento do nível de resistência a patógenos que causam doenças em pessoas. A canamicina, um dos marcadores de resistência mais comumente usados nos processos de transformação genética de plantas, é também empregada no tratamento das seguintes

infecções humanas: dos ossos, da zona respiratória, da pele, dos tecidos, do abdômen e da área urinária, endocardites, septicemia e enterococal. Agora, os cientistas possuem os meios para a remoção destes genes marcadores antes de a planta transgênica vir a ser empregada para uso comercial. Os trabalhos visando à remoção de todos os marcadores das plantas transgênicas e ao emprego dos marcadores alternativos para a seleção de novas variedades continuam. Não existem evidências concretas quanto ao fato de que genes de resistência antibióticos possam causar algum mal às pessoas, mas diante da preocupação pública, todos os pesquisadores envolvidos com a geração de plantas transgênicas devem buscar a remoção de tais marcadores genéticos.

d) Plantas Transgênicas e o Meio Ambiente

- A moderna agricultura é intrinsecamente destrutiva do meio ambiente, em particular, da diversidade biológica, sobretudo quando praticada com ineficiência de recursos, ou quando são empregadas tecnologias não adaptadas às características (solos, topografia, clima, regiões) de cada área. Isto é verdadeiro tanto para a agricultura em pequena escala como para a de grande escala. A aplicação indiscriminada de tecnologias de agricultura convencional como herbicidas, pesticidas, fertilizantes e preparo do solo tem resultado em severos danos para o meio ambiente em muitas partes do planeta. Assim, o risco ambiental das novas tecnologias de obtenção de transgênicos precisa ser considerado à luz do risco de continuidade do uso de tecnologias convencionais e de outras técnicas que comumente são usadas nas propriedades. Muitas práticas agrícolas aplicadas em várias partes do mundo em desenvolvimento mantêm a diversidade biológica, e como bons exemplos, destacam-se a consorciação e a associação de culturas, além dos sistemas agroflorestais.
- A maioria das preocupações quanto ao uso de plantas transgênicas é derivada da possibilidade de um determinado gene migrar para parentes próximos dos citados genótipos e causarem efeitos indesejáveis dos genes exóticos ou caracteres (por exemplo: resistência a insetos ou tolerância a herbicidas), além do provável efeito em organismo não-alvo para tal. É da maior importância sempre divulgar que o impacto potencial de uma planta transgênica é cuidadosamente analisado e que se não for neutro ou inócuo, é preferível continuar com o impacto da tecnologia da agricultura convencional a ser substituída.

- Considerando o limitado uso das plantas transgênicas no mundo e a relativamente compelida condição geográfica e ecológica para a consecução do plantio, a concreta informação sobre seus efeitos no meio ambiente e na diversidade biológica ainda é muito escassa. Como consequência, não existe consenso quanto à existência de efeito danoso ao meio ambiente causado pelo uso de plantas transgênicas. No entanto, é preciso sempre analisar e avaliar os riscos nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas transgênicas, bem como pôr em prática um consistente sistema de monitoramento para avaliar os riscos nos subseqüentes testes de campo e liberação das plantas transgênicas, com referência à saúde alimentar e à segurança ambiental.
- Para a execução da avaliação de riscos, torna-se necessária a existência de informações que incluem a biologia das espécies, a ecologia e as espécies afins, os novos caracteres resultantes da transformação genética das plantas, além de relevantes dados ecológicos dos locais onde as plantas transgênicas estão previstas para serem liberadas. Essas informações não são fáceis de serem obtidas tendo em vista a alta diversidade de ambientes. No entanto, ações e esforços devem ser despendidos para a obtenção de consistentes dados dos Centros de Origem ou diversidade das plantas cultivadas, tendo em vista a existência de possíveis espécies selvagens relacionadas para as quais os novos caracteres poderiam ser transferidos. Para o caso dos ambientes considerados especiais, as plantas transgênicas poderiam ser desenvolvidas pelo uso de tecnologias que minimizariam a possibilidade do fluxo gênico via grão de pólen e seus efeitos nos parentes selvagens, nos quais poderiam ser utilizados métodos de macho-esterilidade ou mesmo de herança materna resultante da transformação de cloroplastos. Aqui, a própria tecnologia do “terminator”, considerada largamente negativa para a agricultura, pode ser apropriada para espécies florestais transgênicas, principalmente de multiplicação vegetativa, para evitar o fluxo gênico indesejável para a biodiversidade, pois está bastante relacionada com a esterilidade ou redução do florescimento. Na atualidade a obtenção de plantas transgênicas estéreis, incluindo a possibilidade de restauração da fertilidade, é um campo aberto para a pesquisa na linha de fitomelhoramento.

- Estudos sobre a transferência de genes de plantas convencionais ou transgênicas, para os parentes selvagens ou outras plantas do ecossistema, devem ser concentrados em espécies de importância econômica como soja, trigo, arroz, feijão e algodão. A virtual ausência de dados, em particular, para espécies como milho, impõe a necessidade do cuidadoso e continuado monitoramento dos possíveis efeitos das plantas transgênicas no campo. A realização contínua de pesquisas sobre as taxas de transferência de genes das culturas tradicionais para as espécies autóctones também é essencial.
- Quando da execução do monitoramento-piloto em pequena escala sobre a liberação das plantas transgênicas, os seguintes aspectos devem ser considerados, em adição a outras preocupações específicas para um particular ambiente: a existência de plantas transgênicas com resistência a uma determinada doença ou praga agrava a emergência de nova resistência de pragas e doenças? Este problema é pior do que a alternativa tradicional? Se alguns caracteres, como tolerância à salinidade e resistência a doenças, são transferidos para variedades selvagens, verifica-se expansão de nicho dessas espécies que pode resultar na supressão da diversidade biológica das áreas circunvizinhas? A ampla adoção de plantas tolerantes a estresses poderia promover um considerável uso de áreas onde não fosse possível praticar formalmente a agricultura devido à possibilidade de destruir preciosos ecossistemas naturais?
- A avaliação de riscos poderia direcionar a obtenção de novas plantas para um determinado ambiente. Em muitos países já existe o procedimento para a liberação local de novas variedades de plantas. Essa avaliação é baseada, preliminarmente, no desempenho agrônomo das novas variedades em comparação com aquelas existentes, em que o método aprovado poderia servir como início de um modelo mais formal do processo de avaliação de risco para investigar o impacto ambiental potencial das novas variedades, incluindo as plantas transgênicas.
- Historicamente, tanto as dificuldades sociais como as alterações estruturais nas áreas rurais resultaram em severa deterioração ambiental. A adoção da biotecnologia moderna poderia não acelerar a citada

deterioração. Pelo contrário, ela poderia ser usada para reduzir os efeitos danosos ao meio ambiente.

- Considerando os aspectos aqui apresentados, os seguintes pontos são recomendáveis: a) coordenação de esforços para pesquisar o potencial de efeitos ambientais, positivos ou negativos, das plantas transgênicas e suas aplicações específicas; b) todos os efeitos ambientais poderiam ser avaliados em relação aos conhecimentos básicos dos efeitos a partir das práticas da agricultura convencional correntemente em uso em locais em que as culturas transgênicas têm sido desenvolvidas ou cultivadas; c) a conservação de recursos genéticos in situ ou ex situ para a agricultura poderia ser executada para garantir a disponibilidade em larga escala, das variedades tradicionais e transgênicas como germoplasma visando à futura utilização em programas de melhoramento genético.

PLANTAS TRANSGÊNICAS E O SEU USO NA AGRICULTURA DE CLIMA TROPICAL E DE CLIMA TEMPERADO

Considerando a possibilidade do uso da agricultura de transgênicos, tanto em condições de clima tropical como em clima temperado, a seguir estão evidenciados alguns pontos de comparação considerados como vantagens e desvantagens.

a) Agricultura de Clima Tropical

- Maior ocorrência de genes tropicais, isto é, maior biodiversidade.
- Genes com maior amplitude de adaptação.
- Maior disponibilidade de genes para a geração de organismos transgênicos – OTs.
- Maior diversidade de ambientes.
- Maior oportunidade para a geração de OTs direcionados para diferentes condições ecológicas.
- Maior oportunidade para o intercâmbio de fluxo gênico entre OT e organismos não-transgênicos – ONT – em vista da maior diversidade biológica.

- Maior oportunidade para a geração de OTs com resistência a pragas e doenças, e tolerância a estresses ambientais em decorrência da maior diversidade biótica e abiótica.
- Maior estabilidade climática que proporciona a melhor interação genótipo x ambiente com o uso de OTs.
- Maior número de espécies-alvo para serem transformadas.
- Maior necessidade de melhoria da qualidade dos produtos via OT, em face da maior diversidade de condicionantes biológicos.
- Melhor oportunidade para o controle de patógenos de pós-colheita.
- Grande ação dos OTs no manejo integrado de pragas e doenças.
- Maior oportunidade para a obtenção de produtos mais estáveis no armazenamento e não-perecíveis.
- Menor influência dos OTs na funcionalidade dos ecossistemas.
- Os OTs contribuem para o aumento da alta variabilidade genética já existente.
- Amoldar genótipos específicos de condições ecológicas temperadas e subtropicadas.
- Possibilidade de os OTs apresentarem efeitos pleiotrópicos em caracteres de importância, reduzindo os riscos de contaminação por micotoxinas em produtos de pós-colheita.
- Menor necessidade do uso de OT para o seqüestro de carbono.
- Grande aplicabilidade do uso da agricultura dos transgênicos, como alternativa, em virtude da grande necessidade do aumento da produção, produtividade e melhoria da qualidade tanto protéica como de sanidade, sobretudo em países em desenvolvimento.
- Grande utilidade de OTs para a melhoria de caracteres monogênicos e oligogênicos.
- Maior aplicação no processo de geração de novas cultivares apropriadas em maior velocidade de tempo, em virtude da vida útil relativamente curta de uma cultivar, devido à coevolução com patógenos.

- Maior eficiência na produção agroindustrial (processos fermentativos, produção de enzimas, biomassa etc.) por causa da maior biodiversidade microbiana.
- Oportunidades de interação entre agroindústria e fármacos.

b) Agricultura de Clima Temperado

- Baixa diversidade biológica.
- Genes com menor amplitude de adaptação.
- Pouca disponibilidade de genes para a transformação de plantas.
- Maior necessidade de OT para o aumento da variabilidade genética.
- Maior carência de amoldar genótipos adaptados a outras condições ecológicas (tropicais), com o uso das tecnologias de criação de OTs.
- Melhores condições para o controle de fatores bióticos e abióticos limitantes.
- Menor necessidade de OTs para o controle de pragas, doenças e estresses ambientais.
- Grande necessidade de OTs para o controle ambiental, por favorecer a elevada redução do volume de agrotóxicos aplicado na agricultura.
- Baixo perigo de contaminação por genes oriundos de OT em ONT, em face da pouca diversidade biológica.
- Maior facilidade para a obtenção de produtos de melhor qualidade sem o uso de OT devido à pouca ocorrência de condicionantes bióticos.
- Pouca diversidade de nichos ecológicos e menor necessidade de obtenção de OTs adaptados às condições ambientais.
- Pouca disponibilidade de espécies-alvo para a transformação genética.
- Menor necessidade do uso de OTs para a melhoria das qualidades dos produtos.
- Maior necessidade do uso de OT para o seqüestro de carbono.
- Pouca aplicabilidade do uso de transgênicos na agricultura, em virtude das superproduções obtidas, especialmente em países desenvolvidos.

- Maior necessidade do uso de OTs para a funcionalidade dos ecossistemas.
- Menor utilidade de OTs para a melhoria de caracteres monogênicos e oligogênicos.
- Menor necessidade do uso dos efeitos pleiotrópicos dos OTs, inclusive para a redução dos riscos de contaminação por micotoxinas em produtos de pós-colheita.
- Pouca necessidade da geração específica de OTs para o uso em manejo integrado de pragas.
- A instabilidade climática requer o melhor direcionamento para a obtenção de novos genótipos, para o que a tecnologia do DNA recombinante é bastante vantajosa.
- Menor aplicação das tecnologias de obtenção de transgênicos no processo de geração de novas cultivares em face da vida útil relativamente longa desses genótipos, devido à relativa pouca ocorrência de condicionantes biológicos.
- Maior necessidade de aumento da produção agroindustrial.
- Necessidade de novos produtos farmacêuticos (mais seguros, estáveis, com menor custo e de mais fácil produção).

Em uma e outra condição ecológica, as vantagens e desvantagens apontadas conduzem à afirmativa de que as plantas transgênicas podem ser utilizadas na agricultura das duas ecologias, embora se tornem mais úteis na agricultura de clima tropical, por estar mais sujeita a condicionantes de ordem biótica e abiótica, e por isso mesmo necessitar da geração e emprego de genótipos apropriados.

A polêmica existente em relação aos transgênicos em países de clima temperado, como os europeus, de Primeiro Mundo, é porque não estão preparados para uma agricultura de transgênicos, com drástica redução da aplicação de agrotóxicos, além de possuírem superproduções fortemente subsidiadas, até com enormes desperdícios, em que, muitas das vezes, o produtor é pago para não aumentar a produção. No entanto, dentro de uma economia globalizada, esses e outros países desenvolvidos poderiam se prestar para aumentar as suas produções em benefício daqueles países onde as populações

vivem abaixo da linha de pobreza ou em miséria absoluta, onde a fome campeia, como em nações africanas. A elevação da produção de alimentos não seria só em quantidade, mas também em qualidade com a melhoria de proteínas e vitaminas, além da ação medicamentosa com o uso de plantas biorreatoras geradas pela tecnologia de DNA recombinante.

Para o caso do Brasil, atualmente existe o grande desafio de elevar a produção de alimentos para um patamar superior à casa das 93 milhões de toneladas, para pelo menos aliviar ou mesmo exterminar as necessidades alimentares dos cerca de 54 milhões de brasileiros que, na atualidade, vivem abaixo da linha de pobreza. A alternativa da agricultura dos transgênicos em ação complementar com a agricultura tradicional, convencional, orgânica e outras, poderá ser a grande atitude do presente e do futuro.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Conforme pode ser observado, as plantas transgênicas estão situadas em três níveis principais quanto à sua geração e utilização: a) genótipos com resistência a fatores bióticos e abióticos; b) genótipos com produtos de melhor qualidade; c) genótipos biorreatores, em fase inicial de desenvolvimento.

De acordo com o apresentado, as plantas transgênicas não se prestam para resolver todos os problemas da agricultura, mas são alternativas complementares para o sucesso do agronegócio. Por exemplo, para o caso de resistência de plantas às doenças, considerando que os métodos atuais de obtenção desses indivíduos não se aplicam para a obtenção de resistência horizontal por ser geralmente poligênica, ao passo que deve ser evitado o uso de plantas perenes onde tecnicamente não se deve utilizar a resistência vertical (monogênica ou mesmo oligogênica), que, neste caso, é um dos principais usos dos transgênicos. É recomendável que o determinado gene exógeno transferido para o organismo transgênico seja forte e com efeito horizontal no genoma do patógeno, ou da família ou raças de patógenos, de modo que seja dificultada a seleção direcional e favorecida a ação da seleção estabilizadora para que a resistência vertical oferecida seja mais duradoura. Para o caso de caracteres comandados por muitos genes, o uso da Seleção Assistida por Marcadores Moleculares é mais efetivo em relação ao método de modificação genética com o uso do DNA recombinante (Ferreira, 1998; Grattapaglia, 1998; Vilela-Morales & Valois, 2000).

Outro ponto a considerar é quanto à visão de futuro do uso de vacinas via plantas biorreatoras. Deve-se levar em conta que, apesar de os estudos estarem em fase inicial, já deve ser considerada a sutileza do P&D posterior, para evitar que as pessoas consumidoras dos produtos não venham a receber superdoses de vacinas, com conseqüências desagradáveis, como o ganho de tolerância, isto é, os produtos especiais devem ser cultivados em locais controlados, para consumo como medicamentos e não como alimentos.

No referente a outras controvérsias, como a influência depressiva na biota do solo em decorrência da produção de toxinas pelas raízes, ingestão de toxinas por pessoas consumidoras e contaminação de espécies aparentadas em face do fluxo gênico com o risco de serem geradas superplantas daninhas, apesar de serem apenas suposições, uma análise mais acurada irá conduzir ao entendimento de que o mesmo também poderá ocorrer sob a influência das plantas não-transgênicas. Para o primeiro caso, existem vários exemplos de alelopatia, que é o fenômeno pelo qual uma planta influi nos vizinhos em decorrência de substâncias tóxicas exsudadas por suas raízes. Quanto à ingestão de toxina, apesar de as enzimas existentes no citoplasma das células humanas serem capazes de neutralizá-las, muitas plantas não-transgênicas também possuem fitoalexinas, que são substâncias tóxicas que conferem resistência a doenças pelo fenômeno da hipersensibilidade, como é o caso da pisantina produzida em ervilha que confere resistência à *Fusarium solani*, faseolina em feijão resistente à *Rhizoctonia solani*, além de ácido clorogênico produzido em café resistente à *Ceratocystis fimbriata* e em batatinha resistente à *Streptomyces scabies* (Valois et al., 1996). Nunca houve nenhuma citação quanto a qualquer efeito danoso à saúde das pessoas consumidoras desses importantes produtos da alimentação humana. Quanto ao perigo de o fluxo gênico poder vir a causar a criação de superplantas daninhas, além das técnicas que poderão ser usadas como macho-esterilidade e influência citoplasmática, deve-se frisar que essa possibilidade também pode ocorrer em plantas não-transgênicas, como é o caso de variedades de milho tolerantes a alumínio (Valois, 1999). O importante é sempre colocar em prática os cuidados da precaução, o que é comum nos métodos de geração de genótipos.

Deve-se ainda enfatizar que há transgênicos gerados com genes exógenos advindos de laboratórios, famílias do reino ou de outros reinos, como também aqueles indivíduos transgênicos criados com genes endógenos do próprio gênero, por exemplo, cujas espécies possuem isolamento reprodutivo entre si, para os quais deve haver uma prudência diferenciada.

Quanto à influência na biodiversidade e no meio ambiente, as plantas transgênicas têm possibilitado grandes benefícios, pois são veículos de aumento da variabilidade genética em que cada novo transgênico é um moderno genótipo na diversidade biológica, e têm concorrido para uma drástica redução do emprego de agrotóxicos na agricultura. A suposição de que possam contribuir para a erosão genética em decorrência de os produtores abandonarem as suas variedades primitivas em prol do uso de cultivares-elites mais produtivas e de melhor qualidade, requer um monitoramento constante para que isso não venha a ocorrer. O fato de os transgênicos incrementarem a quantidade e qualidade dos alimentos produzidos por unidade de área evita que novas áreas de florestas ou habitat e especiais sejam usados para o aumento da produção de alimentos.

Dentro de uma adicional visão de futuro, é esperado que as plantas transgênicas possam vir a ser consideradas na agricultura orgânica, o que se constituirá em grande vantagem comparativa por restringir a ocorrência de condicionantes biológicos nos cultivos.

Um outro grande desafio para desmistificar o uso dos transgênicos de uma vez por todas é quanto à estratégia e tática do emprego desses genótipos em programas de melhoramento genético. Considerando as estruturas genéticas das populações, a frequência gênica e o tamanho efetivo populacional, para o alcance de bons ganhos genéticos, há necessidade de que seja lançada mão de métodos modernos e sofisticados de melhoramento, com boa estratégia de amostragem, pois na população, em princípio, vão-se constituir em genes alelos raros e localizados, de baixa frequência, com base genética estreita no genoma, o que poderá conduzir à erosão. Talvez, para iniciar, uma boa alternativa seria a formação de compostos de variedades visando ao estudo das interações gênicas e ao futuro aumento da frequência dos genes favoráveis, entre outros.

Sobre as críticas de que os transgênicos trazem limitações ao processo evolutivo em face da transgressão à barreira do isolamento reprodutivo, o que já tem sido visto na prática é uma coevolução patógeno-hospedeiro, por exemplo, pela perda de resistência deste último em decorrência da pressão de seleção direcional, embora seja mais vagarosa nos transgênicos do que nos não-transgênicos. Estão bem presentes as oportunidades para a atuação das forças evolutivas da mutação, migração, recombinação genética e seleção natural.

Um assunto ainda pouco resolvido no uso de plantas transgênicas e carentes de consistentes pesquisas adicionais é o fenômeno denominado de intertrófico

ou tritrófico, que significa a influência negativa do hospedeiro na população de inimigos naturais de insetos-pragas. Foram estudados alguns casos em que a praga seqüestra toxinas do hospedeiro transgênico e as transfere para o seu inimigo natural, ocorrendo assim a redução da população do agente de controle biológico na população. Mas se trata de um fenômeno ainda pouco comum, infinitamente inferior ao grande estrago que causam os agrotóxicos nas populações dos insetos-praga e também dos seus inimigos naturais, além do meio ambiente. Mesmo assim, é da maior importância a atitude responsável de ser efetuada uma análise de risco integrada sobre os efeitos da liberação de plantas transgênicas no meio ambiente, em conjunto com a análise da segurança alimentar, que, aliás, é a concepção da Embrapa, com bastante rigor e moral.

CONCLUSÃO

As plantas transgênicas não se constituem em panacéia para resolver todos os problemas da agricultura. A agricultura dos transgênicos, em ação complementar com a agricultura tradicional, agricultura convencional, agricultura orgânica e outras modalidades, é uma alternativa para o uso de genótipos em diversas situações, principalmente naqueles casos em que os métodos tradicionais de melhoramento genético não são capazes de gerar indivíduos apropriados às condições requeridas. Apesar de, na atualidade, em condições normais, não ter havido nenhum caso maléfico à saúde humana entre os milhões de consumidores de produtos transgênicos, torna-se necessária a análise de risco e o monitoramento constante quanto à saúde alimentar e segurança ambiental, especialmente naqueles casos em que os genes exógenos são oriundos de diferentes reinos. O refinamento dos métodos de obtenção de plantas transgênicas, a drástica redução do uso de agrotóxicos na agricultura, a maior velocidade na obtenção de novos genótipos apropriados, o aumento da produção e produtividade com redução dos custos relativos, a melhoria da qualidade dos produtos, também para fins medicinais e fitoterápicos, o aumento da variabilidade genética que proporciona a proteção ambiental e a aplicação para as populações mais carentes, além de inúmeras outras vantagens, podem incrementar a capacidade comparativa e competitiva do agronegócio, especialmente na agricultura de clima tropical. Todas as evidências aqui referidas também remetem para uma aplicação adicional dos organismos transgênicos, que é a possibilidade da mitigação ou extermínio da ação dos princípios ativos de plantas produtoras

de entorpecentes como maconha e cocaína, ou mesmo, em um sentido mais amplo, interferir na ação maléfica de insetos transmissores de sérias doenças como malária, dengue e doença de Chagas, contribuindo, assim, com mais fatores positivos complementares ligados à saúde, políticas públicas e saneamento básico. As controvérsias e debates sobre transgênicos sem fundamentos justificáveis são inapropriados na medida que possam influenciar negativamente em pesquisa e desenvolvimento de genótipos da maior utilidade para o bem-estar da humanidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, M.E. Análise genômica em espécies silvestres do Gênero *Oryza* e introgressão de genes baseada em marcadores moleculares. In: RELATÓRIO anual de biossegurança do Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1998, Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. 77 p. p.40-41. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 42).

GANDER, E. S.; MARCELLINO, L.H.; ZUMSTEIN, P. **Biotecnologia para pedestres**. Brasília: Embrapa – SPI, 1996. 66p.

GRATTAPAGLIA, D. Caracterização e identificação da variabilidade genética de *Eucalyptus* pelo emprego de marcadores moleculares. In: RELATÓRIO anual de biossegurança do Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1998. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. 77p. p.42-43. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 42).

VALOIS, A.C.C.; SALOMÃO, A. N.; ALLEM, A. C. **Glossário de recursos genéticos vegetais**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1996. 62p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 22).

VALOIS, A. C.C. Biodiversidade, biotecnologia e propriedade intelectual (um depoimento). **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, v. 15, número especial, p. 21-31, 1998.

VALOIS, A.C.C. Impactos das novas biotecnologias. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIODIVERSIDADE E TRANSGÊNICOS, 1999, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: Senado Federal, 1999. p.73-91.

VALOIS, A.C.C.; INGLIS, M.C.V.; CARNEIRO, V.T.C.; SUJII, E.R.; BUSTAMANTE, P.G.; AVIDOS, M.F.D. **Organismos transgênicos: visão**

estratégica da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. 21p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 39).

VILELA-MORALES, E.A.; VALOIS, A.C.C. Recursos genéticos vegetais autóctones e seus usos no desenvolvimento sustentável. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.17, n. 2, p. 11-42, 2000.

