

ISSN 1677-5473

G  
g  
y  
A  
s  
K  
p  
d  
V  
z  
b  
f  
C  
T  
f  
G  
M  
w

**T**  
TextO  
D para  
DiscussãO

19

Possibilidades de Uso de Genótipos  
Modificados e Seus benefícios

**Embrapa**

Afonso Celso Candeiro Valois



---

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Secretaria de Gestão e Estratégia  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Texto para Discussão 19

# Possibilidades de Uso de Genótipos Modificados e Seus Benefícios

*Afonso Celso Candeira Valois*

***Embrapa Informação Tecnológica***  
*Brasília, DF*  
*2003*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**

Edifício-Sede da Embrapa

Secretaria de Gestão e Estratégia

Parque Estação Biológica – PqEB – Av. W3 Norte (final)

CEP 70770-901 – Brasília, DF

Fone: (61) 448-4449

Fax: (61) 448-4319

Editor da série

Antônio Jorge de Oliveira

Coordenador editorial

Vicente G. F. Guedes

Corpo editorial

Antonio Flávio Dias Ávila

Antônio Jorge de Oliveira – Presidente

Antonio Raphael Teixeira Filho

Ivan Sergio Freire de Sousa

Levon Yeganiantz

Produção editorial e gráfica

Embrapa Informação Tecnológica

Revisão de texto e tratamento editorial

Raquel Siqueira de Lemos

Normalização bibliográfica

Dauf Antunes Corrêa

Editoração eletrônica

Júlio César da Silva Delfino

Projeto gráfico

Tênisson Waldow de Souza

Tiragem: 500 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP.**

**Embrapa Informação Tecnológica.**

---

Valois, Afonso Celso Candeira.

Possibilidades de uso de genótipos modificados e seus benefícios / Afonso Celso Candeira Valois. – Brasília : Embrapa Informação Tecnológica, 2003.

65 p. ; 21 cm. – (Texto para discussão, ISSN 1677-5473 ; 19).

1. Melhoramento de plantas. 2. Planta transgênica. 3. Melhoramento genético. 4. Engenharia genética. I. Título. II. Série.

**CDD 631.52 (21ª ed.)**

---

© Embrapa 2003

# Apresentação

*Texto para Discussão é um veículo utilizado pela Secretaria de Gestão e Estratégia, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa –, para dinamizar a circulação de idéias novas e a prática de reflexão e de debate sobre aspectos relacionados à ciência, à tecnologia, ao desenvolvimento agrícola e ao agronegócio.*

*O objetivo da série é fazer com que uma comunidade mais ampla, composta de profissionais das diferentes áreas científicas, debata os textos apresentados, contribuindo para o seu aperfeiçoamento.*

*O leitor poderá apresentar comentários e sugestões, assim como debater diretamente com os autores, em seminários especialmente programados, ou utilizando qualquer um dos endereços fornecidos: eletrônico, fax ou postal.*

*Os trabalhos para esta coleção devem ser enviados à Embrapa, Secretaria de Gestão e Estratégia, Edifício-Sede, Parque Estação Biológica – PqEB –, Av. W3 Norte (Final), CEP 70770-901 – Brasília, DF. Contatos com a Editoria devem ser feitos pelo fone (61) 448-4449 ou pelo fax (61) 448-4319.*

*Os usuários da Internet podem acessar as publicações pelo endereço <http://www.embrapa.br/unidades/uc/sge/textdiscussao.htm/>. Para os usuários do Sistema Embrapa, basta clicar em **novidades**, na Intranet.*

O Editor

## Sumário

Possibilidades de Uso de Genótipos Modificados e Seus Benefícios .....	9
Resumo .....	9
Abstract .....	11
Introdução .....	13
Plantas Transgênicas .....	16
Transgênicos como Alternativa para a Agricultura .....	22
Importância das Plantas Transgênicas para a Agricultura .....	31
Plantas Transgênicas em Relação ao Uso na Agricultura de Clima Tropical e Clima Temperado .....	49
Observações Finais .....	56
Conclusão e Recomendação .....	61
Referências .....	63



## Possibilidades de Uso de Genótipos Modificados e Seus Benefícios

*Afonso Celso Candeira Valois<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa  
Agropecuária – Embrapa – Parque Estação Biológica –  
PqEB – Av. W3 Norte (final), CEP 70770-900 Brasília, DF,  
Brasil – E-mail: valois@sede.embrapa.br

# Possibilidades de Uso de Genótipos Modificados e Seus Benefícios

---

## 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 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 que o uso de plantas transgênicas possa representar à saúde alimentar e segurança ambiental, antes da liberação para consumo.

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

# Use Possibilities of Modified Genotypes and Their Benefits

---

## 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, environmental security.

## Introdução

---



e maneira geral, o melhoramento genético de plantas tem se constituído na solução mais curta, econômica e duradoura para o encontro da sustentabilidade da agricultura. Os esquemas usuais de cruzamento e seleção de genótipos precisam ser refinados cada vez mais de maneira a 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, além da decifração do código genético, foi condição primordial para o surgimento da biotecnologia moderna. Tais leis, pelo 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 dessa 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). Essa façanha técnico-científica trouxe um enorme alento para o melhoramento genético de plantas ao possibilitar a sobreposição da barreira do isolamento reprodutivo dentro dos reinos e entre eles, 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 paterno, denominadas transgênicas. Esses genótipos melhorados por técnicas modernas usando *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, fazendo com que atualmente no mundo sejam explorados cerca de 59 milhões de hectares com o agronegócio desses indivíduos, que, em 2000, rendeu mais de US\$ 2,5 bilhões.

O próximo passo é o fortalecimento do processo de geração de novas cultivares, com a melhoria da qualidade de produtos como óleo e fibras, bem como obter plantas biorreatoras produtoras de anticorpos contra gripe, câncer e hepatite, por exemplo.

No entanto, mesmo considerando essa enorme vantagem comparativa e competitiva de obtenção de amplos ganhos genéticos de seleção de genótipos, deve-se considerar que antes da distribuição os organismos transgênicos têm que passar por procedimentos de biossegurança seguidos do descarte daqueles indivíduos que, por ventura, possam vir atentar contra a qualidade de vida, saúde dos consumidores ou causar malefícios ao meio ambiente.

Dentre outras, as principais vantagens que as técnicas de engenharia genética e os próprios transgênicos podem proporcionar ao melhoramento genético de plantas são as seguintes:

- Aumento da produção e da produtividade com redução de custos.
- Alternativa para a comercialização de produtos agrícolas.
- Melhor controle ambiental, especialmente pela redução ou extinção do uso de agrotóxicos.

- Incremento da capacidade comparativa e competitiva na comercialização de produtos agrícolas diante de um mercado globalizado.
- Possibilidade de análise acurada dos produtos transgênicos para a total segurança alimentar e ambiental.
- Busca de caminhos alternativos para bem informar aos produtores e consumidores sobre a origem dos transgênicos.
- Aumento da variabilidade genética pela inserção de genes exógenos em genomas funcionais.
- Maior velocidade na geração de novas cultivares.
- Programas de melhoramento genético mais bem direcionados.
- Melhores condições para vencer impedimentos de ordem biótica e abiótica.
- Maior facilidade para a exploração de condições ecológicas adversas pelo direcionamento da criação de novos genótipos adaptados.
- Meio inteligente para transpor as atuais barreiras de dificuldade de importação de recursos genéticos importantes 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.
- Uso de alternativas genotípicas desejáveis não encontradas com facilidade na natureza.
- Melhoria da qualidade dos produtos agrícolas.

- Plena abertura de oportunidades para evitar o aparecimento de monopólios ou oligopólios na produção de sementes melhoradas.
- 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 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, se traduz em um dos principais fulcros para o desenvolvimento de uma agricultura saudável e competitiva.

## Plantas Transgênicas

---



Brasil se constitui em 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 no mundo. Essa alta concentração de genótipos se traduz em elevado número de genes tropicais e genomas funcionais, com algo em torno 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 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, onde a precaução é sempre colocada em evidência, sem se constituir em panacéia para resolver todos os problemas de abastecimento de alimentos do mundo. Esses pontos são os seguintes:

- 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.

- 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. Para 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 saúde alimentar e segurança ambiental, além de se moldar às exigências internacionais para procedimentos de P&D com organismos geneticamente modificados.
- Comercialização, em que tanto a geração de transgênicos, testes de avaliação preliminares e avançados, economia de escala dentro da cadeia produtiva do agronegócio, comercialização e 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 cerca de 59 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 transgênicos foram primeiramente comercializados na China, em 1990, usando fumo e tomate resistentes a vírus, para depois, em 1994, os Estados Unidos comercializarem tomate transgênico com excelentes características de maior período de conservação.
- Plena informação aos consumidores, como um ponto crucial em que a Embrapa é inteiramente a favor de que os usuários dos produtos

transgênicos sejam informados de alguma forma, ou por rotulagem ou sobre a origem de procedência dos insumos colocados à 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 sobre o uso de plantas transgênicas, daí a enorme necessidade da efetuação de todos os esclarecimentos possíveis. O governo federal, através do Decreto nº 3.871, regulamentou o processo de rotulagem dos produtos transgênicos que contenham cada um dos seus ingredientes considerados separadamente, acima do limite de 4%. Recentemente, a Medida Provisória – MP – número 113, de 26 de março de 2003, alterou essa porcentagem, seguida pelo Decreto nº 4.680, de 24 de abril de 2003, que substituiu o primeiro e fixou o limite acima de 1% para a obrigatoriedade da rotulagem, incluindo plantas e animais.

Nesse sentido, a Embrapa tem avançado na geração de plantas transgênicas, seguindo os métodos mais modernos e próprios, com a vantagem do uso de germoplasma do seu acervo, adaptado às condições ecológicas do País. Esses trabalhos têm envolvido os seguintes produtos:

- Feijão com resistência a vírus e insetos.
- Soja com tolerância a herbicidas e à seca, produção de hormônio de crescimento humano, anticorpos e biopolímeros.

- Algodão com resistência a insetos e biossegurança de eventos resistentes a insetos.
- Batata com resistência a vírus.
- Mamão com resistência a vírus.
- Alface com resistência a fungos.
- Milho com resistência a insetos, para qualidade protéica e tolerância ao alumínio.
- Brachiária para clonagem de plantas por sementes.
- Braquiária, cacau e café para o aperfeiçoamento/desenvolvimento de sistemas de transformação genética.

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

No referente à ação das plantas transgênicas na saúde e segurança alimentar humana, como já foi referido, em 2002, algo em torno de 59 milhões de hectares foram cultivados com transgênicos especialmente em 16 países (Estados Unidos, Argentina, Canadá, China, África do Sul, Austrália, Índia, Romênia, Espanha, Uruguai, México, Bulgária, Indonésia, Colômbia, Honduras e Alemanha), e não se tem notícia de que foi encontrado qualquer problema de saúde em meio às 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. Para o primeiro caso, trata-se de assunto merecedor de toda atenção, onde, como exemplo, 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 foi descartado, isto é, simplesmente foi usada a precaução, em face da suposição de poder causar alergia àquelas pessoas que viessem a consumir o feijão transgênico que também sentem esse mal ao se alimentarem da castanha-do-brasil. No referente ao 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, o 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. Existe a suposição de 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 citações 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. Existem fortes evidências de que esses trabalhos estão em franca evolução para a remoção de todos esses marcadores das plantas transgênicas, bem como utilizar marcadores alternativos para a seleção de novas variedades transgênicas sem o emprego de antibióticos. Trata-se da colocação em prática da precaução, bastante comum em meio aos melhoristas de plantas transgênicas e não-transgênicas.

Deve-se enfatizar que compete à CTNBio solicitar estudos relacionados à segurança ambiental e alimentar de todo e qualquer produto transgênico. Vale ressaltar que os procedimentos e mecanismos utilizados pela CTNBio são rígidos e competentes, inclusive servindo de modelo para outros países (Valois et al., 1999).

## Transgênicos como Alternativa para a Agricultura

---



o longo desses 10 mil anos da agricultura, as plantas cultivadas têm passado por um magnífico processo de melhoramento genético e ambiental, culminando com a seleção de genótipos e de seus ambientes, tendo em vista o aumento da produção e da produtividade.

Com o passar do tempo, houve um aumento constante do número e qualidade das espécies cultivadas, iniciando o ciclo com o uso da agricultura nômade, primitiva, passando depois para a prática agrícola tradicional, como a agricultura do toco, experimentando a melhoria das técnicas e tendo como suporte o uso de variedades

primitivas. Nessa época, os agricultores já praticavam a seleção de plantas com o intuito de usar as melhores sementes no plantio do ano seguinte, mesmo sem atentar para técnicas que melhor explorassem a variabilidade genética.

De maneira geral, a seleção praticada ao longo do tempo conduziu à redução do número de espécies e à uniformidade genética, culminando com exemplos drásticos, como o ocorrido na Irlanda em 1845, quando houve grande redução da população humana naquele país, causada pela ocorrência de uma doença epidêmica em batata (requeima, causada pelo fungo *Phytophthora infestans*), que era o principal alimento da população.

Essa convergência de redução do número de espécies e da variabilidade genética contribui para que nos dias atuais cerca de 80% dos produtos básicos consumidos pela população mundial tenham como sustentáculo cerca de apenas 15 produtos, ou, mais preocupante ainda, 60% da sustentação alimentar estejam baseados em somente 4 produtos (arroz, batata, milho e trigo).

A dependência por germoplasma assola o próprio Brasil, pois, mesmo sendo o País possuidor da maior biodiversidade do Planeta, cerca de 80% dos produtos que chegam à mesa da sua população são exóticos, isto é, têm outros países como centros de origem ou de diversidade genética. Diante das atuais leis e legislações nacionais e internacionais quanto ao acesso a recursos genéticos e propriedade intelectual, cada vez mais tem se tornado difícil a importação de germoplasma. Um grande exemplo tem sido o insucesso do “Compromisso Internacional” tentado pela FAO desde 1983, que busca o intercâmbio facilitado de germoplasma de plantas entre os

160 países que compõem a sua Comissão de Recursos Genéticos.

Afora isso, as constantes mudanças ecológicas do Planeta e a co-evolução de microrganismos patogênicos da agricultura fizeram com que nos dias atuais cerca de 18% da população mundial sofressem sérias e impiedosas restrições quanto à obtenção de alimentos suficientes para abrandar a sua fome.

O posterior advento da agricultura convencional, trazida no bojo da Revolução Verde, como resultado das pesquisas científicas, moldada para o pesado uso de fertilizantes químicos de rápida solubilização e sofisticados agrotóxicos para o combate a impedimentos de ordem biótica e abiótica, contribuiu para a mitigação parcial da fome e da pobreza no âmbito mundial, mas acelerou a seleção de genótipos sintéticos mais exigentes em condições ambientais apropriadas, elitizadas, mais uniformes, com grande predisposição ao ataque de patógenos e conseqüente necessidade constante de reposição automática de genótipos mais modernos.

Formas mais recentes de realizar agricultura, como a própria agricultura orgânica, apesar de contribuírem para a melhoria da qualidade dos produtos e redução dos custos de produção, não têm sido capazes de exteriorizar altas produtividades, principalmente porque a grande maioria dos genótipos disponíveis foi criada para diferentes condições ambientais. Isso requer a consistente criação de indivíduos específicos para essas condições especiais, que sejam menos exigentes em nutrientes químicos de rápida solubilização, que tenham maior habilidade na extração de nutrientes do solo, que sejam mais resistentes a condicionantes bióticos e abióticos, que favoreçam a

seleção estabilizadora e que possam apresentar altas produções e produtividades com elevada qualidade dos seus produtos, entre outros.

Todas essas modalidades de agricultura são válidas e complementares, mas necessitam de outras ações alternativas, pois, enquanto a população mundial cresce exponencialmente, a produção de alimentos não tem sido capaz de acompanhar esse crescimento, inclusive diante de uma situação real em que, na atualidade, está acelerado o êxodo rural, com menos pessoas vivendo no campo para a produção de alimentos em benefício de muito mais pessoas vivendo nas grandes cidades.

A descoberta das leis da hereditariedade em 1866 e a redescoberta em 1900, seguida de outros excelentes resultados, como os efeitos da heterose e do vigor do híbrido, conhecimento sobre a estrutura espacial do DNA com a sua formidável hélice dupla, universalidade do código genético e muitos outros, fizeram com que o século 20 se constituísse no século da genética.

Esses fatos auspiciosos conduziram ao desenvolvimento da engenharia genética, que possibilita a passagem de genes de uma espécie para outra sem a necessidade da reprodução sexual, fortalecida pela certeza de que genes transferidos de uma espécie para outra podem produzir os mesmos efeitos que na espécie originária, mesmo considerando reinos diferentes. Assim, surgiram os organismos transgênicos na década de 70, quando dois pesquisadores americanos conseguiram transferir gene de rã para bactéria, já referidos.

A agricultura dos transgênicos que traz, em seu bojo, o alento da ação complementar com as outras formas de agricultura para contribuir para a mitigação da fome,

pobreza e miséria absoluta no mundo, considerando a sua nobre função social, vem causando grande polêmica em meio a setores da opinião pública e da sociedade organizada, por se constituir em um fato novo, pouco conhecido e com inconsistentes justificativas em contrário.

Nesse processo de manifestação da sociedade em relação aos organismos transgênicos, especialmente têm se distinguido cinco grupos de pessoas:

- Aquele que acredita na ciência e em suas aplicações.
- aquele que acredita na ciência, mas que gostaria de ver o risco zero em suas aplicações ou caminhar para isso.
- O grupo de oportunistas, aproveitador de oportunidades para aparecer.
- Aquele grupo de pessoas que recebem vantagens para estabelecer campanhas de situações adversas, até terroristas, em razão, principalmente, de interesses comerciais.
- O grupo que está rindo à toa, isto é, os fabricantes de agrotóxicos, pois, diante das controvérsias, se valem da oportunidade para fortalecer ainda mais a comercialização e o derrame de pesticidas na agricultura brasileira. Neste último grupo também estão os vendedores de sementes transgênicas clandestinas para o Brasil, com a enorme inconveniência da desobediência da lei em vigor, desorganização do setor sementeiro com sérios malefícios contábeis, sociais e para ações e esforços de P&D, além do grande perigo da

introdução indiscriminada de patógenos na agricultura brasileira em face da falta de fiscalização, barreiras fitossanitárias e trabalhos quarentenários em relação aos genótipos introduzidos.

Na realidade, o cultivo de plantas transgênicas é uma grande oportunidade de explorar a expressão de genes de efeito desejado ao agronegócio, à agricultura de subsistência e à sociedade como um todo, muitas vezes não encontrada na espécie, gênero, família ou mesmo no determinado reino.

Talvez o cerne de tudo isso seja o motivo pelo qual foi iniciada essa forma de agricultura, direcionada para a obtenção de vantagens comparativas comerciais, favorecendo, por um lado, a venda direcionada de insumos da agricultura, como herbicidas, e, por outro, desfavorecendo a venda de agrotóxicos em uma agricultura convencional dirigida para tal, com grandes investimentos no setor, especialmente em países desenvolvidos da Europa.

Se a agricultura dos transgênicos tivesse sido iniciada com o objetivo de produzir fitoterápicos, fármacos, nutracêuticos, extratos e cosméticos mais baratos e de acesso fácil e seguro, ou mesmo para a melhoria da qualidade dos produtos, especialmente para servir populações mais carentes do Planeta, talvez, na atualidade, estivéssemos em fases mais adiantadas do uso desses importantes genótipos.

Mas, historicamente, os fatos novos da genética de grande efeito constantemente têm servido de controvérsias diante dos poucos conhecimentos sobre a profundidade dos temas. Assim aconteceu com as próprias leis da hereditariedade de Gregor Mendel em seus estudos com ervilha, e da aplicação da radiogenética na agricultura, que

com o passar do tempo foram sendo aceitas diante dos grandes sucessos alcançados, embora tudo isso tenha causado um grande atraso no desenvolvimento da ciência em prol do bem-estar da humanidade<sup>1</sup>.

Embora não se saiba se esses indivíduos gerados pela tecnologia do DNA recombinante tenham causado qualquer problema de saúde humana ou segurança ambiental, principalmente pelo fato de não haver experiência relacionada ao efeito de gene exógeno no novo genoma que compõe, torna-se mister a exigência dos estudos de avaliação de riscos de utilização alimentar e ambiental, antes da liberação dos genótipos para o consumo humano.

Nesse ponto deve-se esclarecer que há “transgênicos” e “transgênicos”. Há aqueles genótipos transgênicos que podem ser criados com o uso de genes exógenos oriundos de outras famílias do reino, de outros reinos, ou mesmo sintetizados em condições de laboratório, levando em conta as suas partes promotora, codificadora e terminadora. Genótipos transgênicos também podem ser gerados com genes endógenos do próprio gênero que apenas não são explorados da forma convencional em face do isolamento reprodutivo entre determinadas espécies. Como exemplo, genes de resistência à vassoura-de-bruxa do cacauzeiro podem estar no genoma do cupuaçuzeiro,

---

<sup>1</sup> Vale ressaltar que um dos episódios mais tristes da história teve como artífice o russo Trofim Lysenko, que fez com que o governo do seu país exercesse uma política drástica e repressiva a universidades, professores, pesquisadores, produtores e todos os demais seguidores da teoria mendeliana da herança, causando uma verdadeira catástrofe na produção agrícola da Rússia, entre os anos 1930 e 1970. Para Lysenko, erroneamente, a produção de uma planta não dependia de sua constituição genética, mas somente da maneira pela qual ela interagia com o meio ambiente.

mas o *Theobroma cacao* e o *Theobroma grandiflorum* possuem a barreira do isolamento reprodutivo entre si, o que proíbe a exploração dessa desejável resistência da forma convencional. Aqui aparece a grande importância da tecnologia de DNA recombinante e de outras refinadas ferramentas da biotecnologia moderna, que é a geração de novos genótipos sem a necessidade da exploração da reprodução sexual.

Considerando-se todas as formas de geração de genótipos, seja por ação natural e artificial de cruzamento e seleção intra-específico, interespecífico e intergenérico, mutações induzidas etc., nunca os novos indivíduos foram tão bem analisados como no caso dos transgênicos. Isso também é verdade, por exemplo, para os métodos de tratamento de alimentos prontos para consumo, como aqueles irradiados visando ao maior período de conservação, fato esse que necessita de maior reflexão e de profundas análises. Os transgênicos podem ser utilizados para esse fim com muito maior segurança!

Na avaliação dos transgênicos tem sido fortalecida a precaução, o que é muito comum em qualquer programa de melhoramento genético. Tudo indica que o processo seletivo colocado em prática tem sido seguro, eficiente e eficaz, pois, nos cerca de 59 milhões de hectares atualmente cultivados com transgênicos com milhões de pessoas consumidoras, nenhuma limitação ligada à saúde humana ou ao meio ambiente foi identificada, levando-se ainda em conta que desde 1990 produtos transgênicos vêm sendo comercializados.

Muito pelo contrário, as qualidades dos produtos e do meio ambiente têm sido significativamente beneficiadas, principalmente pela drástica redução da aplicação

de agrotóxicos na agricultura. Esse mercado, considerado de US\$ 35 bilhões anuais, só no Brasil chega a US\$ 2,5 bilhões. Aqui os transgênicos mostram uma nova e vantajosa face que é a de contribuírem com fatores positivos ligados a políticas públicas e de saneamento básico.

Enquanto são gerados e utilizados novos genótipos transgênicos, inúmeras pesquisas devem continuar sendo realizadas quanto ao aprimoramento de plantas, animais e microrganismos para o emprego de indivíduos para resistência a estresses bióticos e abióticos, manejo integrado de pragas, qualidade dos produtos, produção de fitoterápicos, vacinas e medicamentos, uso múltiplo de genes, controle de fluxo gênico, saúde alimentar e segurança ambiental, entre outros, de modo que a ciência continue seguindo o seu vasto caminho progressista em benefício da sociedade.

Fóruns internacionais, inclusive virtuais, têm considerado três principais fulcros da biotecnologia moderna, isto é, a cultura de tecidos, os marcadores moleculares e a tecnologia do DNA recombinante. Tem ficado claro que os países em desenvolvimento devem contentar-se com a cultura de tecidos, ficando para os países desenvolvidos a total prática da biotecnologia. No entanto, um país como o Brasil, emergente, tem todas as condições de domínio de todas as fases da biotecnologia, o que já vem colocando em prática com grande maestria, especialmente quanto à geração de transgênicos. Isso é muito importante para a redução das dependências de tecnologias externas.

O acervo de genes disponíveis *in situ* e *ex situ* para a criação de transgênicos é imensurável, considerando plantas, animais e microrganismos. As modernas técnicas biotecnológicas vão possibilitar uma constante prospecção

de genes para comporem genomas funcionais. Nesse sentido, o Brasil leva uma grande vantagem, pois, além de ser vasta a sua biodiversidade, biomassa e recursos genéticos, tem demonstrado grande competência na utilização de ferramentas biotecnológicas apropriadas para o uso de técnicas moleculares para identificação, isolamento e expressão de genes.

O seu grande acervo de genótipos tropicais ainda conduz o País a uma larga vantagem comparativa em relação a outros, pois os genes mostram maior efeito de homeostase do desenvolvimento em relação a genes evoluídos em climas temperados e subtropicais, assumindo a grande esperança que vem dos trópicos.

Os organismos transgênicos, com todas essas oportunidades, possuem amplas possibilidades de serem amoldados às necessidades dos consumidores, em ação interativa com outras formas de agricultura comercial e social.

## Importância das Plantas Transgênicas para a Agricultura

---



evando-se em conta a estimativa que por volta do ano 2020 a população mundial estará em torno de 8 bilhões de pessoas, com a grande maioria vivendo nas cidades, vários aspectos têm sido considerados relacionados 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

---

- Através da ciência tem sido desenvolvido o mais completo entendimento sobre o meio ambiente natural, melhoria da saúde humana, com o emprego de novos medicamentos e descoberta de genes de plantas específicos para controlar outros efeitos bióticos e abióticos.
- Vários termos têm sido 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, têm oferecido recomendações para o desenvolvimento de organismos transgênicos (Estados Unidos, Inglaterra, Brasil, China, Índia, México e do Terceiro Mundo).
- Alimentos podem ser produzidos através 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, especialmente em países emergentes.
- Nos dias atuais, existem cerca de 800 milhões de pessoas no mundo que não têm acesso a alimento suficiente para satisfazerem suas necessidades. Assim, deficiências em micronutrientes, especialmente em Vitamina A, iodo e ferro, são generalizadas.
- Significativos avanços são requeridos para a produção de alimentos, distribuição e acesso, visando ao suprimento dessa necessidade. Muitos desses avanços podem advir da tecnologia de obtenção dos não-transgênicos, mas outras virão das vantagens oferecidas pela tecnologia dos transgênicos.
- Para se 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, é preciso requerer substancial aumento na produtividade. Aumentos em produtividade são também necessários para outras culturas, como hortaliças, milho, algodão, banana e plátano.
- Usando o estoque da variabilidade genética através da seleção e melhoramento, a Revolução

Verde produziu diversas variedades que hoje são usadas no mundo. Um bom exemplo desse melhoramento seletivo foi a introdução de genes anões em arroz e trigo, que, em associação 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 em face de estresses causados por fatores bióticos (doenças e pragas) e abióticos (salinidade e seca).

- A agricultura moderna tem aumentado a produção de alimentos, mas também tem introduzido 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 em plantas transgênicas, bem como o melhoramento tradicional e seleção efetuada 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. Com isso, as plantas transgênicas podem se tornar em bons paternos para uso no melhoramento genético tradicional.
- Plantas transgênicas com características importantes, como resistência a doenças, pragas e herbicidas, são mais necessárias onde essas vantagens não têm sido encontradas em espécies locais (não-transgênicas).

## b) Transgênicos e benefícios para a agricultura

---

- A tecnologia de DNA recombinante tem sido usada para a produção de variedades de plantas, com sucesso comercial e social. Têm sido obtidas frutas e hortaliças com resistência a insetos e víruses, além de tolerância a herbicidas.
- Têm sido utilizadas tecnologias de transgênicos que atrasam a maturação de frutas e hortaliças, permitindo, assim, o aumento do período de armazenamento. Consumidores poderiam se beneficiar pela disponibilidade de frutas e hortaliças, como tomates transgênicos que se tornam maduros mais vagarosamente em relação às variedades tradicionais. Essas características possibilitam maior flexibilidade na distribuição dos produtos em relação às variedades tradicionais. Em muitos casos, os produtores têm pesadas perdas dos produtos obtidos nas fazendas em face da incontrolável maturação e maciez de frutas e hortaliças.
- Existe um claro benefício para os produtores se as plantas transgênicas forem desenvolvidas para resistência a pragas específicas. Por exemplo, mamão resistente a “Ring Spot Virus” tem sido comercializado no Haváí desde 1996. Culturas transgênicas com resistência a insetos, contendo genes de Bt, têm feito com que haja 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 também 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 se constituíam em preocupação dos melhoristas, e que são limitantes da agricultura em países em desenvolvimento. Isso também é válido para cultivares não-transgênicas.
- Mesmo onde os mesmos genes para resistência a insetos e herbicidas são de utilidade em diferentes regiões, tipicamente esses genes necessitarão ser introduzidos em cultivares adaptadas localmente. Há necessidade de mais pesquisas sobre plantas transgênicas para resistência a pragas endêmicas (específicas de locais), de modo a permitir a sustentabilidade, em face do aumento da pressão de seleção para pragas mais virulentas.
- Um dos grandes sucessos da Revolução Verde foi o desenvolvimento e uso de variedades de trigo semi-anãs. Os genes responsáveis pela redução da altura do trigo foram dez, introduzidos nessa planta nos anos de 1950 (genes para nanismo insensíveis a Giberelina). Esses genes possibilitam dois benefícios:
  - a) Produzem plantas baixas e vigorosas que podem responder positivamente à aplicação de pesada quantidade de fertilizantes sem mostrar colapso (queimaduras, etc.).
  - b) Apresentam o 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, usadas como alimentos. Recentemente, esses genes foram isolados e foi demonstrado que podem atuar no mesmo sentido se usados na transformação de outras espécies. Essa técnica de obtenção de plantas anãs pode agora ser potencialmente usada para o aumento de produção e produtividade de muitas culturas, onde a produção econômica está na parte reprodutiva e não na parte vegetativa.

- 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 grande parte dos cultivos de arroz na África ou causado um efeito secundário na maioria da plantação, por torná-la suscetível a infecções causadas por fungos. As abordagens convencionais para controlar o RYMV, usando-se 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 nesse sentido. Numerosos outros exemplos podem ser dados para ilustrar a amplitude da pesquisa científica corrente, incluindo plantas transgênicas para combater o “Ring Spot Vírus” do mamão, bem como para controlar a requeima da batata. Uma vasta área do globo terrestre é considerada marginalizada em face da excessiva ocorrência de

salinidade. Têm sido identificados genes em mangue (*Avicennia marina*) com tolerância a sal, clonados e transferidos para outras plantas – as plantas transgênicas demonstraram ser tolerantes a altas concentrações de sal. O gene *gutD* de *Escherichia coli* tem sido usado para gerar plantas transgênicas de milho com tolerância a sal. Esses genes se constituem em fonte potencial para desenvolver sistemas agrícolas para áreas marginalizadas.

- As primeiras gerações de variedades transgênicas beneficiaram inúmeros produtores na forma de reduzir os custos de produção, obtenção de altas produções, ou ambos. Em muitos casos, houve ainda o benefício ao meio-ambiente, em face da drástica redução da aplicação de pesticidas, e proporcionando meios para o crescimento de culturas com menor ação sobre o solo. O pleno desenvolvimento de plantas transgênicas no presente e no futuro proporciona 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, proporcionam oportunidades alternativas para reduzir o uso de pesticidas químicos em importantes culturas. Também diminuem a contaminação dos alimentos por patógenos que causam problemas de segurança alimentar, como micotoxinas, o que se traduz em grande benefício para produtores e consumidores.

### c) Plantas transgênicas na saúde e segurança humanas

---

- Através 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, como já foi citado, existem algumas preocupações potenciais com relação 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 canamicina, no processo de transformação e seleção de plantas transgênicas. Para o primeiro caso, trata-se de um assunto que merece atenção, enquanto, 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 efetuado para evitar a introdução de fontes conhecidas causadoras de reações alérgicas em consumidores, em plantas alimentícias. No entanto, a tecnologia do DNA recombinante pode ser considerada como um alento para pessoas alérgicas, pois essa tecnologia é capaz de remover os genes dos agentes alergênicos que possam estar incluídos em genomas de vários produtos naturais, como arroz, castanha-do-brasil e amendoim. Isso se

traduz em uma nova e vantajosa aplicação da engenharia genética, pois o OGM gerado não significa a adição de gene não existente em seus paternos e sim a subtração de gene considerado indesejável para a saúde humana – trata-se realmente de uma “ bênção divina ” . Isso contradiz informações recentemente veiculadas pela Internet, resultado de discussão em Fórum Internacional sobre OGM conduzida pela FAO, que dizia que os transgênicos “poluíam o espírito”, em uma evidente manifestação de radicalismo, ideologismo, sentido emocional, obsessão e tentativa inaceitável de envolvimento religioso!

- Uma grande vantagem da tecnologia de obtenção de transgênicos é permitir a introdução de um ou de poucos genes bem definidos, em vez da introdução de todo o genoma ou parte do número de cromossomos, como usualmente é feito no melhoramento genético tradicional. Isso conduz à efetuação de testes de toxicidade para obtenção de plantas transgênicas mais direcionadas do que para a obtenção de plantas não-transgênicas, em face de ser mais clara a detecção de novas características em plantas modificadas. Por sua vez, tecnologia de transgênicos pode 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 em plantas, com possibilidade de se constituir em alimentos. Qualquer perigo para a

saúde advinda de alimentos e quanto às maneiras para controle deve se constituir em prioridade em todos os países, mesmo à parte de qualquer preocupação quanto ao uso de transgênicos.

- Desde o advento da tecnologia de DNA recombinante, os pesquisadores têm usado genes de resistência a antibióticos como marcadores seletivos no processo de modificações genéticas. A preocupação tem aumentado quanto à possibilidade do alastramento do uso desses genes em plantas, o que poderia dar margens ao aumento do nível de resistência a patógenos que causam doenças em humanos. A canamicina, um dos marcadores de resistência mais comumente usados nos processos de transformação genética de plantas, é também usada no tratamento das seguintes infecções humanas: nos ossos, zona respiratória, pele, tecidos, no abdômem, na área urinária, endocarditis, septicemia e enterococal. Atualmente, os cientistas possuem os meios para a remoção desses genes marcadores antes da planta transgênica vir a ser empregada para uso comercial. Os trabalhos continuam para a remoção de todos os marcadores das plantas transgênicas e utilização dos marcadores alternativos para a seleção de novas variedades. Não existem evidências concretas quanto ao fato de que genes de resistência a antibióticos possam causar algum mal às pessoas, mas, em face da preocupação pública, todos os pesquisadores envolvidos com a geração de plantas transgênicas devem partir para a remoção de tais marcadores genéticos.

- A deficiência em Vitamina A tem causado a cegueira total ou parcial em cerca de 500 mil crianças a cada ano em todo o mundo. Os métodos tradicionais de melhoramento genético não têm tido sucesso na produção de variedades com alta concentração de Vitamina A. Pesquisadores têm introduzido três novos genes em arroz (dois da planta Narciso e um oriundo da bactéria *Erwinia uredovora*). O arroz transgênico tem exibido um aumento na produção de betacaroteno, um precursor da Vitamina A, e que apresenta as sementes bronzeadas. Esse arroz dourado ou 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. A anemia tem sido identificada como o fator que contribui com mais de 20% das mortes maternas. Arroz transgênico com elevado nível de ferro tem sido produzido, usando 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 teor de ferro normalmente encontrado em arroz não-transgênico, cuja forma de disponibilidade de ferro necessita de profundos estudos adicionais.
- 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

produção como para uso. A maioria das vacinas tem que ser conservada em refrigeradores e administrada por especialistas treinados, o que encarece ainda mais o processo. O preço das agulhas para a aplicação das vacinas também é proibitivo em muitos países. Como resultado, freqüentemente as vacinas não alcançam a grande maioria das necessidades. Pesquisadores têm correntemente investigado o potencial dos organismos transgênicos para a produção de vacinas e fármacos em plantas. Isso poderia permitir o acesso a baixo custo, além de um caminho alternativo para a geração de renda. Vacinas contra doenças infecciosas gastrointestinais têm sido produzidas a partir de plantas como batata e banana. Os cereais de grão podem ser outros meios de produção de vacinas. Um anticorpo anticâncer recentemente foi expresso em sementes de arroz e trigo, que reconhece células de câncer do pulmão, mama e colo do útero, que poderia ser utilizado no futuro tanto para diagnóstico como para terapia. Essas tecnologias estão em um estágio bem inicial, e obviamente referem-se à saúde humana e segurança ambiental, e durante a produção têm que 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 um terço dos medicamentos hoje utilizados é oriundo 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 batata que contém uma proteína do vírus da Hepatite B, que conseguiu produzir anticorpos contra o vírus na corrente sanguínea de camundongos que foram alimentados com os tubérculos. Vale ainda mencionar a recente e notável geração de galinha transgênica destinada à cura do câncer através do consumo dos ovos produzidos.

#### d) Plantas transgênicas e meio ambiente

- A moderna agricultura é intrinsecamente destrutiva do meio ambiente. É particularmente destrutiva da diversidade biológica, notadamente quando praticada com ineficiência de recursos, ou quando são aplicadas tecnologias não adaptadas às características do meio ambiente (solos, topografia, clima, regiões) de uma área particular. Isso é verdade tanto para a agricultura em pequena escala como para a praticada em grande escala. A aplicação indiscriminada de tecnologias de agricultura convencional, como herbicidas, pesticidas, fertilizantes e preparo do solo, tem resultado em severos danos ao meio ambiente em muitas partes do Planeta. Assim, o risco ambiental das novas tecnologias de obtenção de transgênicos necessita ser considerado à luz do risco de continuidade do uso de tecnologias convencionais e outras técnicas que comumente são usadas nas propriedades. Muitas práticas agrícolas aplicadas em várias partes do mundo em desenvolvimento

têm demonstrado manter a diversidade biológica. Tem-se como bons exemplos a consorciação e associação de culturas, além dos sistemas agroflorestais.

- A disponibilidade e o eficiente uso da água têm se constituído em 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. Existe a necessidade de 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 (plantio direto). No entanto, as diferenças regionais em sistemas agrícolas e o impacto potencial de substituir a cultura tradicional por uma variedade transgênica precisam ser profundamente avaliados.
- A maioria das preocupações quanto ao uso de plantas transgênicas é derivada da possibilidade de determinado gene migrar para parentes dos citados genótipos e causarem efeitos indesejáveis. É da maior importância sempre divulgar que o impacto potencial de uma planta transgênica tem sido cuidadosamente analisado e que, se não for neutro ou inócuo, é preferível continuar com a tecnologia da agricultura convencional que seria substituída.

- Considerando o limitado uso das plantas transgênicas ao redor do mundo e a condição geográfica e ecológica relativamente compelida 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 relacionado à existência de efeito danoso ao meio ambiente causado pelo uso de plantas transgênicas. No entanto, existe a necessidade de sempre ser efetuada a análise e avaliação de riscos nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas transgênicas, bem como colocar em prática um consistente sistema de monitoramento para avaliar os riscos nos subseqüentes testes de campo e liberação das plantas transgênicas, tendo em vista a saúde alimentar e a segurança ambiental.
- Para a execução da avaliação de riscos, torna-se necessária a existência de informações incluindo a biologia das espécies, ecologia e 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 ser obtidas, diante da alta diversidade de ambientes. No entanto, ações e esforços devem ser despendidos para a obtenção de consistentes dados oriundos 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 viriam minimizar a possibilidade do fluxo gênico via grão de pólen e seus efeitos nos parentes selvagens, onde 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 à biodiversidade, pois está bastante relacionada com a esterilidade ou redução do florescimento. Inclusive, 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, particularmente para espécies como milho, impõe a necessidade do cuidadoso e continuado monitoramento dos possíveis efeitos das plantas transgênicas no campo. Existe também a contínua necessidade da execução de pesquisas sobre as taxas de transferência de genes das culturas tradicionais para as espécies autóctones.
- 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 determinada doença ou praga agrava a emergência de nova resistência de pragas e doenças, e esse problema é pior do que a alternativa tradicional? Se caracteres como tolerância a salinidade, resistência a doenças e outros são transferidos para variedades selvagens, existe uma expansão de nicho dessas espécies que pode resultar na supressão da diversidade biológica das áreas circunvizinhas? Poderia a ampla adoção de plantas tolerantes a estresses promover considerável uso de áreas onde formalmente a agricultura não poderia ser praticada em face da possibilidade de destruir preciosos ecossistemas naturais?

- A avaliação de riscos poderia direcionar à obtenção de novas plantas para 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 agronômico das novas variedades em comparação com aquelas existentes, onde o método aprovado poderia servir como início de um modelo mais formal do processo de avaliação de risco para investigar o possível impacto ambiental das novas variedades, incluindo as plantas transgênicas.
- Historicamente, tanto as dificuldades sociais como as alterações de estruturas nas áreas rurais têm resultado 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 levantados, 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, contra os 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 e uso de recursos genéticos *in situ* ou *ex situ* para a agricultura devem ser executados 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 em Relação ao Uso na Agricultura de Clima Tropical e Clima Temperado

---



Considerando a possibilidade do uso da agricultura de transgênicos tanto em condições de clima tropical como em clima temperado, são evidenciados a seguir, 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 (OT)
- Maior diversidade de ambientes.
- Maior oportunidade para a geração de OT 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 OT com resistência a pragas e doenças, e tolerância a estresses ambientais em decorrência da maior diversidade biótica e abiótica.
- Maior estabilidade climática que proporciona melhor interação genótipo x ambiente, com o uso de OT.
- 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 OT no manejo integrado de pragas e doenças.
- Maior oportunidade para a obtenção de produtos mais estáveis no armazenamento e não perecíveis.
- Menor influência dos OT na funcionalidade dos ecossistemas.
- Os OT contribuem para o aumento da alta variabilidade genética já existente.
- Amoldar genótipos específicos de condições ecológicas temperadas e subtemperadas.
- Possibilidade dos OT apresentarem efeitos pleiotrópicos em caracteres de importância, inclusive 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 face da grande necessidade do aumento da produção, produtividade e melhoria da qualidade tanto protéica como de sanidade, principalmente em países em desenvolvimento.
- Grande utilidade de OT para a melhoria de caracteres monogênicos e oligogênicos.
- Maior aplicação no processo de geração de novas cultivares apropriadas em maior velocidade de tempo, em face da vida útil relativamente curta de uma cultivar em virtude da co-evolução com patógenos.

- Maior eficiência na produção agroindustrial (processos fermentativos, produção de enzimas, biomassa, etc.) diante 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 quanto ao aumento da variabilidade genética.
- Maior carência de amoldar genótipos adaptados a outras condições ecológicas (tropicais), com o uso das tecnologias de criação de OT.
- Melhores condições para o controle de condições bióticas e abióticas limitantes.
- Menor necessidade de OT para o controle de pragas, doenças e estresses ambientais.
- Grande necessidade de OT 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 em virtude da reduzida ocorrência de condicionantes bióticos.
- Pouca diversidade de nichos ecológicos e menor necessidade de obtenção de OT adaptados às condições ambientais.
- Pouca disponibilidade de espécies-alvo para a transformação genética.
- Menor necessidade do uso de OT 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, diante das superproduções que são obtidas, especialmente em países desenvolvidos.
- Maior necessidade do uso de OT para a funcionalidade dos ecossistemas.
- Menor utilidade de OT para a melhoria de caracteres monogênicos e oligogênicos.
- Menor necessidade do uso dos efeitos pleiotrópicos dos OT, inclusive para a redução dos riscos de contaminação por micotoxinas em produtos de pós-colheita.
- Pouca necessidade da geração específica de OT para o uso em manejo integrado de pragas.
- A instabilidade climática requer o melhor direcionamento quanto à 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 condições ecológicas, as vantagens e desvantagens apontadas conduzem à afirmativa de que as plantas transgênicas podem ser utilizadas na agricultura das duas ecologias, embora tornem-se 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.

Em ambas as condições ambientais, a engenharia genética de plantas, isto é, o melhoramento em âmbito molecular, pode exercer um papel fundamental na melhoria da qualidade, quantidade e disponibilidade para o eficaz suprimento de alimentos, contribuindo assim para a redução da fome e da miséria absoluta em países carentes .

A tecnologia do DNA recombinante pode ainda conduzir à obtenção de genótipos com alta eficiência para a produção de grãos, óleos, fibras e tolerância a estresses, além de benefícios ambientais. Seria da maior conveniência, por exemplo, a transformação da soja de planta C3 para C4, que por certo multiplicaria a sua produtividade

de óleo, ou mesmo a mandioca, para a produção de amido e féculas.

A polêmica existente com relação aos transgênicos em países de clima temperado, como os europeus, de Primeiro Mundo, deve-se ao fato de eles não estarem preparados para uma agricultura de transgênicos, com drástica redução da aplicação de agrotóxicos, além de possuírem superproduções fortemente subsidiadas, até com enormes desperdícios, onde, 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 aumentar as suas produções em benefício daqueles países onde as populações vivem abaixo da linha de pobreza ou 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 a um patamar sempre superior à casa das 100 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 se constituir em grande atitude do presente e do futuro.

## Observações Finais

---



Conforme pode ser observado, as plantas transgênicas estão situadas em três níveis quanto à sua geração e utilização:

- Genótipos com características agrônômicas para resistência a fatores bióticos e abióticos.
- Genótipos com produtos de melhor qualidade e processamento.
- Genótipos biorreatores, em fase inicial de desenvolvimento, representados pelos nutracêuticos, farmacêuticos e químicos específicos.

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 e da agricultura social. Por exemplo, para o caso de resistência de plantas às doenças, considerando os métodos atuais de obtenção desses indivíduos, esses genótipos geneticamente modificados não se aplicam à 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, nesse 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 (MAS) é mais efetivo em relação ao método de modificação genética com o uso do DNA recombinante (Ferreira, 1999; Grattapaglia, 1999; 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 da P&D posterior, para evitar que os consumidores dos produtos não venham a receber superdosagens de vacinas, com consequências desagradáveis, como o ganho de tolerância, ou seja, 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, substâncias tóxicas que

conferem resistência a doenças pelo fenômeno da hipersensibilidade, como é o caso da pisantina, produzida em ervilha, que confere resistência a *Fusarium solani*, faseolina em feijão resistente a *Rhizoctonia solani*, além do ácido clorogênico, produzido em café resistente a *Ceratocystis fimbriata*, e em batatinha resistente a *Streptomyces scabies* (Valois et al., 1996). Nunca houve uma citação quanto a qualquer efeito danoso à saúde das pessoas consumidoras desses importantes produtos da alimentação humana. Quanto ao perigo do 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, enquanto são veículos de aumento da variabilidade genética, cada novo transgênico é um moderno genótipo na diversidade biológica, 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. Ainda, os transgênicos, diante do incremento da quantidade e qualidade dos alimentos produzidos por unidade de área, evitam que novas áreas de florestas ou habitats, naturais e especiais, sejam usados para adição ao 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, pelo fato de restringir a ocorrência de condicionantes biológicos nos cultivos.

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, à estabilidade genética e ao futuro aumento da frequência dos genes favoráveis, entre outros.

Um outro ponto de importância que deve ser aprofundado em organismos transgênicos é o estudo da genética fisiológica da expressão de genes. Por exemplo,

a sobre – expressão de um gene codificante para a enzima Aleno Óxido Sintase – AOS – em plantas transgênicas de batata (*Solanum tuberosum*) – tem permitido incrementar as concentrações endógenas do fitormônio Ácido Jasmônico – AJ – em níveis que vão de 6 até 12 vezes os níveis observados em plantas de batata silvestre (Peña-Cortés, 2000). O AJ é um hormônio de crescimento, de desenvolvimento e de resposta a diferentes condições de estresse ambiental da planta. Estudos dessa natureza devem ser incrementados, para a expressividade de toxinas e outras manifestações de um caráter genético, comparando as plantas transgênicas e não-transgênicas.

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 co-evolução patógeno-hospedeiro, por exemplo, pela perda de resistência deste último em virtude da pressão de seleção direcional, embora seja mais vagarosa nos transgênicos em relação aos 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 carente de consistentes pesquisas adicionais é quanto ao fenômeno denominado de intertrófico ou tritrófico, que significa a influência negativa do hospedeiro na população de inimigos naturais de insetos-praga. Têm sido 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 trata-se 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 avaliação de risco integrada sobre os efeitos da liberação de plantas transgênicas no meio ambiente, em conjunto com a análise da segurança alimentar e dos alimentos, que, aliás, é a concepção da Embrapa, com bastante rigor e moral.

## Conclusão e Recomendação

---



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, se constitui em 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 avaliação de risco e monitoramento constante quanto à saúde alimentar e segurança ambiental, especialmente naqueles casos onde 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, inclusive para fins medicinais, 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 e os benefícios sociais para agricultores de produção familiar, especialmente na agricultura de clima tropical.

Todas as evidências aqui referidas, inclusive, 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 coca, ou mesmo, em um sentido mais amplo, através da homeostase genética interferir na ação maléfica de insetos transmissores de sérias doenças, como malária, dengue e chagas, além do emprego na biorremediação, contribuindo assim com mais fatores positivos complementares ligados a saúde, políticas públicas e saneamento básico.

As controvérsias e debates sobre transgênicos sem fundamentos justificáveis são inapropriados, na medida em que possam influenciar negativamente no avanço de pesquisa e desenvolvimento de genótipos da maior utilidade para o bem-estar da humanidade

A recomendação plausível que se pode extrair do presente trabalho é a necessidade da separação lógica de esforços e ações de P&D da ânsia e cobiça puramente mercadológica sem a visão das conseqüências futuras. Nesse sentido, as pesquisas científicas públicas, com plantas transgênicas geradas com o uso de ferramentas biotecnológicas, não devem se preocupar em encontrar

soluções alternativas que viabilizem interesses exclusivos de comercialização ou de afirmação no mercado dos produtos transformados. Essas atividades devem ser integralmente direcionadas para o esclarecimento dos pontos de controvérsias que atualmente estão a necessitar de uma resposta convincente às demandas da sociedade. Assim, esses trabalhos de cunho técnico-científico devem ser fortalecidos nas linhas de pesquisa da análise genética, saúde alimentar, sanidade humana, segurança ambiental, políticas públicas, bem-estar social e certificação dos produtos, através de adequados experimentos de laboratório e de campo, com o emprego de constantes processos de validação pragmática e participativa, sem se constituir em utopia ou histeria. A bioética, na qualidade de uma ciência que envolve a conduta humana sob o ponto de vista de uma reflexão moral em harmonia com a biologia e medicina, também deve ser considerada.

Para isso, dentro daquilo que lhe concerne, a Embrapa tem o dever de continuar na busca de oportunidades para modernizar os seus laboratórios, capacitar recursos humanos, elaborar e aprovar projetos competitivos, desenvolver modelos e protocolos compatíveis e fortalecer parcerias para obter bons resultados e ir ao encontro dos anseios da sociedade brasileira.

## Referências

---



FERREIRA, M. E. Análise genômica em espécies silvestres do gênero *Oryza* e introgressão de genes baseada em marcadores moleculares. In: SUJII, E. R.; AVIDOS, M.

F. D.; RIBEIRO, S. da G.; BRASILEIRO, A. C. M.; OLIVEIRA, M. R. V. de. **Relatorio anual de biosseguranca do Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Geneticos e Biotecnologia 1998**. Brasilia: Embrapa Recursos Geneticos e Biotecnologia, 1999. p. 40-41. (Embrapa Recursos Geneticos e Biotecnologia. Documentos, 42)

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

GRATTAPAGLIA, D. Caracterização e identificação da variabilidade genética de Eucalyptus pelo emprego de marcadores moleculares. In: SUJII, E. R.; AVIDOS, M. F. D.; RIBEIRO, S. da G.; BRASILEIRO, A. C. M.; OLIVEIRA, M. R. V. de. **Relatorio anual de biosseguranca do Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Geneticos e Biotecnologia 1998**. Brasilia: Embrapa Recursos Geneticos e Biotecnologia, 1999. p. 42-43. (Embrapa Recursos Geneticos e Biotecnologia. Documentos, 42)

PEÑA-CORTÉS, H. Ácido jasmônico. In: BARRUETO CID, L. P. (Ed.) **Introdução aos hormônios vegetais**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000. p. 131-157.

VALOIS, A. C. C.; SALOMÃO, A. N.; ALLEM, A. C. **Glossário de recursos genéticos vegetais**. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 62 p. (Embrapa-Cenargen. Documentos, 22).

VALOIS, A. C. C. Biodiversidade, biotecnologia e propriedade intelectual: um depoimento. **Caderno de Ciências & Tecnologia**, Brasília, DF, 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. 21 p. (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**, Brasília, DF, v. 17, n. 2, p. 11-42, 2000.

## Títulos lançados

Nº 1 – A pesquisa e o problema de pesquisa: quem os determina?

*Ivan Sergio Freire de Sousa*

Nº 2 – Projeção da demanda regional de grãos no Brasil: 1996 a 2005

*Yoshihiko Sugai, Antonio Raphael Teixeira Filho, Rita de Cássia Milagres Teixeira Vieira e Antonio Jorge de Oliveira*

Nº 3 – Impacto das cultivares de soja da Embrapa e rentabilidade dos investimentos em melhoramento

*Fábio Afonso de Almeida, Clóvis Terra Wetzel e Antonio Flávio Dias Ávila*

Nº 4 – Análise e gestão de sistemas de inovação em organizações públicas de P&D no agronegócio

*Maria Lúcia D'Apice Paez*

Nº 5 – Política nacional de C&T e o programa de biotecnologia do MCT

*Ronaldo Mota Sardenberg*

Nº 6 – Populações indígenas e resgate de tradições agrícolas

*José Pereira da Silva*

Nº 7 – Seleção de áreas adaptativas ao desenvolvimento agrícola, usando-se algoritmos genéticos

*Jaime Hidehiko Tsuruta, Takashi Hoshi e Yoshihiko Sugai*

Nº 8 – O papel da soja com referência à oferta de alimento e demanda global

*Hideki Ozeki, Yoshihiko Sugai e Antonio Raphael Teixeira Filho*

Nº 9 – Agricultura familiar: prioridade da Embrapa

*Eliseu Alves*

Nº 10 – Classificação e padronização de produtos, com ênfase na agropecuária: uma análise histórico-conceitual

*Ivan Sergio Freire de Sousa*

Nº 11 – A Embrapa e a aqüicultura: demandas e prioridades de pesquisa

*Júlio Ferraz de Queiroz, José Nestor de Paula Lourenço e Paulo Choji Kitamura (eds.)*

Nº 12 – Adição de derivados da mandioca à farinha de trigo: algumas reflexões

*Carlos Estevão Leite Cardoso e Augusto Hauber Gameiro*

Nº 13 – Avaliação de impacto social de pesquisa agropecuária: a busca de uma metodologia baseada em indicadores

*Levon Yeganiantz e Manoel Moacir Costa Macêdo*

Nº 14 – Qualidade e certificação de produtos agropecuários

*Maria Conceição Peres Young Pessoa, Aderaldo de Souza Silva e*

*Cilas Pacheco Camargo*

Nº 15 – Considerações estatísticas sobre a lei dos julgamentos categóricos

*Geraldo da Silva e Souza*

Nº 16 – Comércio internacional, Brasil e agronegócio

*Luiz Jésus d'Ávila Magalhães*

Nº 17 – Funções de produção – uma abordagem estatística com o uso de modelos de encapsulamento de dados

*Geraldo da Silva e Souza*

Nº 18 – Benefícios e estratégias de utilização sustentável da Amazônia

*Afonso Celso Candeira Valois*

*Produção editorial, impressão e acabamento*  
***Embrapa Informação Tecnológica***

**Embrapa**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Secretaria de Gestão e Estratégia*

g y i h k p d  
A s k d  
V z b f  
G T f  
G U w  
M

**T**  
TextO  
para  
DiscussãO

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

**BRASIL**  
UM PAÍS DE TODOS

CGPE 3887