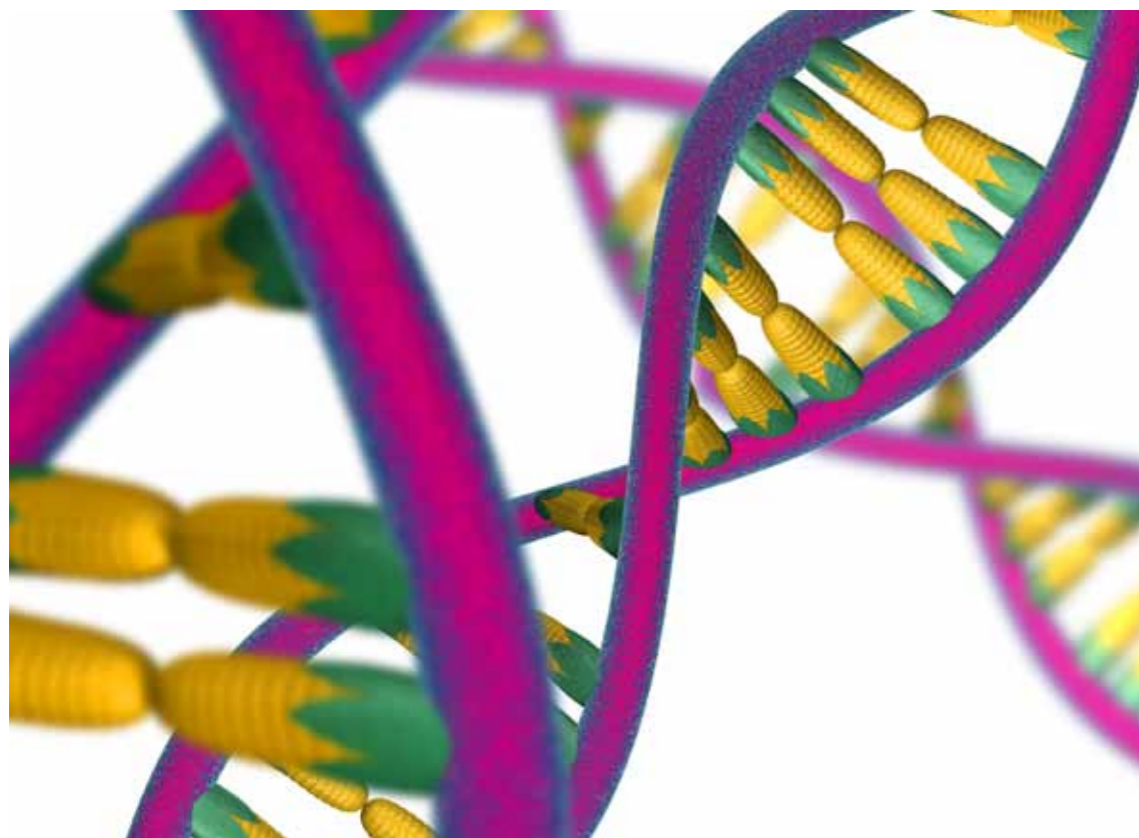


# ALIMENTOS GENETICAMENTE MODIFICADOS



Alimento geneticamente modificado é aquele obtido a partir de variedades geneticamente modificadas ou que, no seu processamento, utilizam microorganismos geneticamente modificados. Esses alimentos podem ser utilizados para consumo direto, como insumo ou ingrediente na cadeia de produção de outros alimentos.

## INTRODUÇÃO

A palavra biotecnologia é formada por três termos de origem grega: *bio*, que significa vida; *logos*, conhecimento, e *tecnos*, que designa a utilização prática da ciência. Com o conhecimento da estrutura do material genético - o DNA (ácido desoxirribonucléico) - e o correspondente código genético, teve início, a partir dos anos 70, a biotecnologia, através de uma de suas vertentes, a engenharia genética, ou seja, a técnica de empregar genes em processos

produtivos com a finalidade de se obter produtos úteis ao homem e ao meio ambiente. Os métodos modernos permitem que os cientistas transfiram genes (e, conseqüentemente, características desejadas) de maneira antes impossíveis, com grande segurança e precisão.

A biotecnologia engloba todos os processos que se utilizam de agentes biológicos para a obtenção de produtos. Nesse caso, pode-se dizer que, de forma não intencional, a biotecnologia existe há milhares de anos, desde que se descobriu a fer-

mentação de pães, bebidas e queijos, realizadas por microorganismos.

Os conhecimentos que possibilitaram o desenvolvimento da biotecnologia remontam a meados do século XIX, quando o monge agostiniano austríaco, Gregor Johann Mendel (1822-1884), “o pai da genética”, lançou as bases da genética, explicando a transmissão de características de geração para geração.

A biotecnologia vem sendo utilizada para melhorar plantas, visando aumentar a produtividade agrícola, de forma sustentável e com preservação do meio ambiente, bem como para produzir alimentos de maior valor nutritivo. Ainda existem muitas possibilidades de melhoria na agricultura com o uso da biotecnologia, como por exemplo, produção de plantas

adaptadas a condições adversas de clima e solo, diminuição de perdas pós-colheita pela produção de plantas que amadurecem mais lentamente, entre outras.

Os primeiros experimentos em campo com plantas geneticamente modificadas foram realizados em 1986, nos Estados Unidos e na França. Mais de 30 mil testes de campo já foram realizados no mundo, principalmente nos Estados Unidos e Canadá, havendo também testes realizados na Europa e na América Latina. Neste último caso, a maior parte dos testes

foram realizados na Argentina e no México. O Brasil iniciou suas atividades nesse sentido em 1997, tendo a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, autorizado a realização de aproximadamente 900 testes até o momento.

Atualmente, a biotecnologia está sendo utilizada para desenvolver variedades com ganhos específicos para a fase de produção, conferindo às plantas a melhoria de suas características agrônômicas, tais como resistência a insetos e

doenças e tolerância a herbicidas. Soja, milho, canola, batata e algodão transgênicos já são cultivados em escala comercial e consumidos em diversos países.

Pesquisas estão sendo desenvolvidas e em breve deverão estar disponíveis no mercado plantas com maior teor de óleo, de proteínas e vitaminas. Há também pesquisas que possibilitarão, no futuro, que as plantas sejam utilizadas como biofábricas de medicamentos e vacinas, bem como que sejam produzidas plantas melhor adaptadas a condições adversas de clima e solo e que apresentem menores perdas pós-colheita.



Gregor Johann Mendel

A biotecnologia engloba todos os processos que se utilizam de gentes biológicos para a obtenção de produtos.

## OS ALIMENTOS GENETICAMENTE MODIFICADOS OU TRANSGÊNICOS

Os alimentos geneticamente modificados, ou transgênicos, produzidos pela transferência controlada de genes de uma espécie para outra, sem efetuar cruzamentos, com o objetivo de introduzir uma única característica desejada, promoveu uma revolução na forma de produzir alimentos, causando expectativas e anseios tanto nos leigos quanto nos cientistas.

O melhoramento básico é o responsável direto pelos avanços obtidos no desenvolvimento de plantas mais produtivas ou de mais qualidade nesse último século.

As possibilidades de transformação genética em plantas utilizadas como alimento humano são enormes: arroz rico em vitaminas, tomate com elevado teor de licopeno para prevenção de câncer, amendoim sem proteínas alergênicas, bananas contendo vacinas, soja com óleo mais saudável para a dieta de pacientes cardíacos, etc.

Vários projetos com alimentos transgênicos vêm sendo conduzidos em praticamente todos os países economicamente desenvolvidos: plantas transgênicas de fumo resistentes ao vírus do mosaico começaram a ser cultivadas na China do início dos anos 90. Em seguida, tomates transgênicos contendo genes que retardam a degradação do fruto foram comercializados nos Estados Unidos. As primeiras plantas geradas para cultivo em grandes áreas contêm genes para resistência a herbicidas e insetos, principalmente soja, algodão, milho e canola. Essas plantas vêm sendo cultivadas em grandes áreas, principalmente, nos Estados Unidos, Argentina, China e Canadá.

As plantas transgênicas também estão sendo testadas para produção de antígenos vacinais, devido ao fato de que a amplificação de vírus em plantas apresenta capacidade de expressar pequenos domínios antigênicos, enquanto plantas transgênicas podem expressar antígenos de maior complexidade estrutural.

O desenvolvimento de plantas transgênicas com novas características é considerado uma das mais importantes aplicações da tecnologia do DNA recombinante. Além dos avanços biotecnológicos de qualidade, a tendência é uma uniformização das variedades e, dentro dela, em alguns casos, do controle do próprio princípio de fertilidade das sementes, uniformizando, pelo monopólio da tecnologia, o controle econômico das lavouras, dos cultivares e da produção agrícola.

## AS PRINCIPAIS CULTURAS

Atualmente, das culturas geneticamente modificadas mais importantes no mundo estão o trigo, arroz, milho, soja, batata, colza, tomate, banana e maçã, as quais já são geneticamente modificadas.

**Trigo.** O trigo (*Triticum spp.*) é uma gramínea cultivada em todo o mundo. Globalmente, é a segunda maior cultura de cereais, seguida pelo milho e pelo arroz. O grão de trigo é um alimento básico usado para fazer farinha e, com esta, o pão; na alimentação dos animais domésticos; e como ingrediente na fabricação de cerveja. O trigo é originário da antiga Mesopotâmia. Os antigos arqueólogos demonstraram que o cultivo do trigo é originário da Síria, Jordânia, Turquia e Iraque. Há cerca de 8.000 anos, uma mutação ou hibridização ocorreu, resultando em uma planta com sementes grandes, porém que não podiam se espalhar pelo vento. Essa planta não poderia vingar como silvestre, porém, poderia produzir mais alimento para os humanos e, de fato, teve maior sucesso do que outras plantas com sementes menores e tornou-se o ancestral do trigo moderno.

Oito mil anos depois de sua descoberta surgiu o trigo transgênico. A transformação, nesse caso, ocorreu através da introdução do DNA no genoma do trigo, sem que houvesse o processo de transmissão sexual. Realizada em laboratório, usa técnicas físicas ou biológicas para evitar métodos de introgressão de genes normais. Primeiro, o DNA é transmitido e incorporado no genoma de uma única célula. Essa célula é

multiplicada, normalmente segundo um procedimento de seleção, em uma massa de células diferenciadas, as quais são induzidas a diferenciar os tecidos da planta, resultando eventualmente em uma planta completa fértil. Essa

planta pode passar o DNA recentemente incorporado por processos sexuais normais. A habilidade da célula para incorporar o DNA, proliferar em células diferenciadas, promover a diferenciação das células diferenciadas em tecido, e o desenvolvimento de uma planta fértil, são etapas necessárias. Plantas diferentes responderam a graus diferentes de esforços de experimentos para completar o procedimento em espécies específicas. Algumas, como o tabaco, a batata e a *Arabidopsis*, são tolerantes a determinado grau de transformação, tornando-se um procedimento rotineiro. A *Arabidopsis thaliana*, é uma planta herbácea da família das Brassicaceae, a que também pertence à mostarda. É um dos organismos modelo para o estudo da genética, em botânica, tendo um papel semelhante ao da drosófila, em outros tipos de pesquisa genética. Foi a primeira planta que teve seu genoma completamente sequenciado.

Para a cultura do trigo, apenas a linhagem transgênica resistente a glifosato foi autorizada para comercialização nos Estados Unidos, mas não chegou ao mercado por razões econômicas e políticas. No momento, existem mais de 400 solicitações para teste em campo em vários países do mundo, sendo as características inseridas a tolerância a herbicida, conteúdo de amido modificado e resistência a fungos. Acredita-se que o trigo transgênico chegue ao mercado no médio prazo. Em vista disto, a triticultura nacional não pode ficar na dependência da tecnologia gerada em outros países, como tem ocorrido em outras culturas. No Brasil é relatada, somente em nível de pesquisa, a obtenção de plantas transgênicas de trigo contendo um gene que pode conferir tolerância ao déficit hídrico.

Considerando esta

Oito mil anos depois da descoberta da cultura do trigo, surgiu o trigo transgênico. A transformação, nesse caso, ocorreu através da introdução do DNA no genoma do trigo, sem que houvesse o processo de transmissão sexual.



urgente necessidade e a consciência da importância do domínio da técnica para a triticultura nacional, a Embrapa Trigo vem realizando esforços no sentido de implementar a técnica de transformação de trigo há vários anos. Estas ações se constituem no treinamento de empregados em centros de pesquisa conceituados, como o CYMMIT, no México, e o SCIRO, na Austrália, além da compra de equipamentos e estruturação de laboratórios para tal atividade, e da recente contratação de empregados para atuarem especificamente no tema. Em um primeiro momento, a característica candidata a ser inserida é a tolerância ao déficit hídrico, visto que é uma característica agrônômica difícil de ser melhorada pelo uso de técnicas de melhoramento convencional e possui grande importância tanto na viabilização da triticultura tropical (especialmente na situação de sequeiro) quanto buscando adaptação de material genético frente às mudanças climáticas.

**Arroz.** Rico em amido, o arroz é uma ótima fonte de energia, de minerais, como o ferro, vitaminas B e proteínas. O cereal que alimenta metade da população mundial, necessita de muita água para irrigação e fica atrás apenas do cultivo de milho e do trigo em área plantada.

Assim como o trigo e o milho, o arroz também possui a sua versão transgênica. Ao transplantar para o genoma da *Oryza Sativa*, a mais popular espécie de arroz, genes emprestados do narciso, uma erva nativa do Mediterrâneo, e da bactéria *erwinia*, obteve-se um tipo de cereal muito mais rico em betacaroteno, o agente construtor da vitamina A. O betacaroteno é uma substância produzida por muitos vegetais, mas somente alguns acumulam em quantidade, como por exemplo, a cenoura, o tomate, a batata-doce, a abóbora, o mamão, a folha da beterraba, da mostarda, etc. Uma vez ingerido pelo homem, o betacaroteno é transformado, no fígado, em vitamina A, que é importante para a manutenção da saúde, atuando na formação de pigmentos fotossensíveis da retina, no crescimento de alguns tipos de células, e no aumento da capacidade imunológica.

Foram identificadas no narciso (*Narcissus pseudo-narcissus*) e na bactéria *erwinia* (*Erwinia uredovora*) os três genes responsáveis pela produção das três enzimas necessárias para a transformação do difosfato em betacaroteno. Para isolar esses genes, a moderna biotecnologia utiliza uma ferramenta bioquímica, a enzima de restrição, que reconhece determinados sítios (seqüências nucleotídicas curtas de quatro a seis pares de bases) em moléculas de DNA fita dupla e fazem um corte no esqueleto de desoxirribose-fosfato das duas fitas de DNA, como uma tesoura cortando um pedaço de fita.

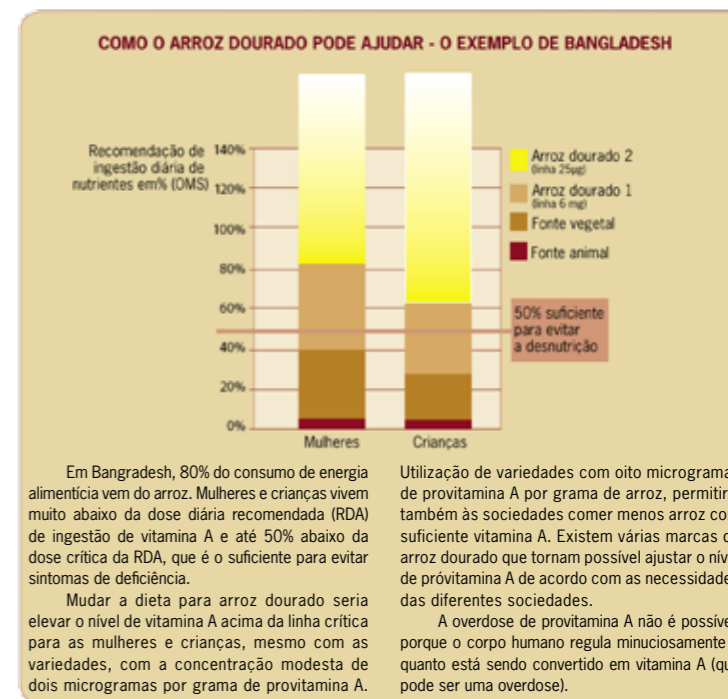


Arroz branco

Arroz dourado

Os genes, junto com os segmentos do DNA responsáveis por sua ativação, são inseridos em plasmídios, moléculas circulares de DNA com capacidade de duplicação autônoma, existentes no interior das agrobactérias, conhecidas como *Agrobacterium tumefaciens*. Essas bactérias são utilizadas nos processos de engenharia genética como transportadoras de pedaços de DNA para a célula vegetal. Na natureza, essa bactéria infecta a célula vegetal, provocando a formação de tumores na planta. Quando usadas como transportadoras de novos genes, os genes de formação dos tumores são retirados, ficando somente os genes de interesse.

A bactéria, que contém agora no seu plasmídio os



genes para a produção do betacaroteno, é colocada em contato com células do embrião da semente do arroz. Os genes de interesse, inseridos no plasmídeo da bactéria, são incorporados ao DNA da célula do arroz. Os três genes incorporados passam a produzir as três enzimas responsáveis pela transformação do geranyl-geranyl difosfato em betacaroteno, tornando o grão de arroz amarelo.

Como no processo convencional de melhoramento genético, as primeiras plantas do arroz transgênico são submetidas a cruzamentos entre indivíduos da mesma espécie, permitindo a seleção daquelas que apresentam padrões desejáveis. São as sementes destas que irão germinar nos campos de cultivares geneticamente modificados.

Usufruindo dos artifícios da biotecnologia, encontramos o arroz dourado, o maior feito da biotecnologia agrícola desde o surgimento de genes, há 20 anos.

O Instituto Suíço de Ciência Vegetal, em Zurique, lançou no ano 2000 a variedade transgênica “arroz dourado” (*Golden rice*). O arroz dourado consiste de uma série de linhagens que apresentam elevados teores de betacaroteno, precursor da vitamina A. Esta variedade de arroz foi desenvolvida para ajudar a combater a cegueira decorrente da deficiência de vitamina A, problema especialmente crítico em países em desenvolvimento na África. Quando crianças ingerem uma quantidade diária adequada de vitamina A, uma série de doenças podem ser prevenidas ao longo da vida. O arroz dourado pode contribuir para o adequado balanço nutricional da dieta, especialmente, dos menos favorecidos. O arroz dourado não foi desenvolvido por multinacional, não preconiza a aplicação de outros agrotóxicos, não foi desenvolvido para grandes produtores e, não

é incompatível com a agricultura auto-sustentável.

**Milho.** O milho é um conhecido cereal cultivado em grande parte do mundo. É extensivamente utilizado como alimento humano ou ração animal, devido as suas qualidades nutricionais. Existem varias espécies e variedades de milho, todas pertencentes ao gênero *Zea*.

Todas as evidências científicas levam a crer que seja uma planta de origem americana, onde era cultivada desde o período pré-colombiano. É um dos alimentos mais nutritivos que existe, contendo quase todos os aminoácidos conhecidos, sendo exceções à lisina e o triptofano. Puro ou como ingrediente de outros produtos, é uma importante fonte energética para o homem. Ao contrário do trigo e do arroz, que são refinados durante seus processos de industrialização, o milho conserva sua casca, que é rica em fibras, fundamental para a eliminação das toxinas do organismo humano. Além das fibras, o grão de milho é constituído de carboidratos, proteínas, vitaminas (A e complexo B), sais minerais (ferro, fósforo, potássio e cálcio), óleo e grandes quantidades de açúcares, gorduras, celulose e calorias.

O milho é a espécie vegetal mais utilizada para pesquisas genéticas e uma das mais difundidas entre as de alimentos transgênicos, em parte porque seu consumo é basicamente para ração animal, onde a resistência do consumidor é menor. Algumas variedades não comerciais e selvagens de milho são cultivadas ou guardadas em bancos de germoplasma para adicionar diversidade genética durante processos de seleção de novas sementes para uso doméstico, inclusive milho transgênico.

Segundo os produtores de sementes, o milho transgênico traz um aumento médio de 8% na produtividade. Nos Estados Unidos, mais de 70% do milho plantado é transgênico. A produção de variedades transgênicas na Argentina e no Brasil é crescente. Há também relatos de milho transgênico em Honduras.

O milho é um exemplo da manipulação de espécies pelo homem. O milho cultivado pelos índios mal lembra o milho atual: as espigas eram pequenas, cheias de grãos faltando, e boa parte da produção era perdida para doenças e pragas. Através do melhoramento genético, o milho atingiu sua forma atual.

O Núcleo de Biologia Aplicada da Embrapa Milho e Sorgo Sete Lagoas/MG desenvolve uma ação multidisciplinar, que engloba a utilização conjunta de técnicas de

melhoramento genético e de biologia molecular, com o objetivo de desenvolver novas linhagens de milho tropical com qualidade nutricional melhorada. Para alcançar esse objetivo, genes endógenos que codificam proteínas raras de alta qualidade nutricional tiveram sua regulação alterada por meio da engenharia genética, com adição de promotores de proteínas de reserva de alta atividade endosperma específica. Do ponto de vista de biossegurança, a estratégia de transformar milho com seqüências isoladas da própria espécie é desejável, uma vez que se buscará apenas alterar a regulação de genes que já são naturalmente expressos na planta.

Na tentativa de aumentar a produção da  $\delta$ -zeína no endosperma utilizando-se técnicas de biologia molecular, foi construído um gene quimérico, onde a região promotora do gene das  $\gamma$ -zeínas foi ligada à região codante do gene das  $\delta$ -zeínas. A  $\delta$ -zeína é uma proteína que contém 23% do aminoácido essencial metionina, mas essa proteína corresponde a apenas 5% das prolaminas presentes no endosperma. Por outro lado, um dos promotores de maior atividade no endosperma do milho é aquele dos genes que codificam a proteína de reserva  $\gamma$ -zeínas. Em milhos normais, 25% das proteínas de reserva dos grãos são representados pelas  $\gamma$ -zeínas. As  $\delta$ -zeínas e as  $\gamma$ -zeínas são codificadas por genes presentes em uma ou duas cópias no genoma, o que torna seus sistemas regulatórios ferramentas potenciais para alteração da atividade gênica via engenharia genética. Hipoteticamente, plantas transgênicas de milho, contendo a construção quimérica descrita, produzirão uma maior quantidade de  $\delta$ -zeína no endosperma, uma vez que essa proteína está sob o comando de um promotor de alta atividade endosperma específico - promotor  $\gamma$ -zeínas. Um aumento da  $\delta$ -zeína no endosperma acarretará um conseqüente aumento do aminoácido essencial metionina no grão do milho, possibilitando o desenvolvimento de plantas de milho tropical transgênicas de alta qualidade nutricional sem a necessidade da utilização de genes exógenos, uma vez que  $\delta$ -zeína e  $\gamma$ -zeínas são normalmente expressas no endosperma de milhos não transgênicos.

**Soja.** A soja é um grão rico em proteínas, cultivado como alimento tanto para humanos quanto para animais. É originária da China e pertence à família *Fabaceae* (leguminosa), assim como o feijão, a lentilha e a ervilha.

A soja é o principal alimento modificado geneticamente; representa 60% da área de cultivo de transgênicos no mundo, sendo que 56% da área de soja plantada no mundo é transgênica.

Existem vários tipos de soja transgênica sendo desenvolvidos atualmente. A mais conhecida e plantada

comercialmente é uma planta que recebeu, por meio de técnicas de biotecnologia, um gene de um outro organismo capaz de torná-la tolerante ao uso de um tipo de herbicida, o glifosato (produto comumente utilizado pelos agricultores no controle de plantas daninhas e limpeza de áreas antes do plantio de uma cultura. Suas moléculas se ligam a uma proteína vital da planta, impedindo seu funcionamento e ocasionando sua morte). Esse gene foi extraído de uma bactéria do solo, conhecida como *Agrobacterium*, e patenteada com o nome de CP4-EPSPS. Estruturalmente, é muito parecido com os genes que compõem o genoma de uma planta. Quando ingerido no genoma da soja, torna a planta resistente à aplicação do herbicida. Essa novidade chegou ao campo pela primeira vez nos Estados Unidos, na safra de 1996. No ano seguinte, os agricultores argentinos também aderiram à novidade. Com a nova tecnologia ficou mais fácil para os agricultores controlarem a planta daninha sem afetar a soja. A eliminação de plantas daninhas é importante por competirem por nutrientes e luz com a soja, pois esta é uma planta sensível à luz.

Em 1998 começou o plantio clandestino de soja transgênica no Brasil. No cenário atual, a nova lei de Biossegurança, de 24 de maio de 2005, regulariza o plantio e os estudos com transgênicos.

A Embrapa Soja atua em pesquisas com soja transgênica desde 1997, quando em parceria com a iniciativa privada, passou a incorporar às suas cultivares, o gene de tolerância ao herbicida glifosato.

O cultivo de soja no Brasil ocupa hoje uma área de aproximadamente 18 milhões de hectares, totalizando uma produção de 52 milhões de toneladas. Atualmente, do total de soja produzido no país, foi estimado que três milhões de hectares foram cultivados com soja geneticamente modificada para a tolerância ao herbicida glifosato.

**Algodão.** Cultivado comercialmente em nove países, o algodão transgênico é um sucesso. Diminuiu os custos de produção e reduz os riscos de contaminação por agrotóxicos para o meio ambiente e para os agricultores, na medida em que necessita de menos aplicações de inseticidas. Aproximadamente 68% do algodão transgênico cultivado é do tipo Bt, o

Existem vários tipos de soja transgênica sendo desenvolvidos atualmente. A mais conhecida e plantada comercialmente é uma planta que recebeu, por meio de técnicas de biotecnologia, um gene de um outro organismo capaz de torná-la tolerante ao uso de um tipo de herbicida, o glifosato.



qual possui em seu DNA o gene da bactéria *Bacillus thuringiensis* (origem do nome Bt) responsável pela produção de uma toxina letal para as lagartas lepidópteras, as principais pragas do algodão.

As folhas do algodão Bt são mortais para a lagarta: a toxina provoca infecção no inseto, que morre dois dias após a ingestão do produto. O algodão convencional exige, no mínimo, 14 aplicações de inseticida. Essa é uma das vantagens do produto transgênico, pois no algodão Bt o número médio de aplicações de inseticida entre o plantio e a colheita é de apenas sete.

Nos Estados Unidos, o algodão Bt é cultivado comercialmente desde 1996. Desde então, Argentina, China, Índia, México, Colômbia, Indonésia e África do Sul também possuem suas plantações de algodão Bt.

Além dos já citados, existem outros exemplos de alimentos geneticamente modificados. O queijo vegetariano é feito com o uso de quimosina, enzima geneticamente modificada, de tal modo que a enzima extraída de uma levedura produz quimosina pura que é idêntica àquela existente na natureza, não mais sendo necessário utilizar coalho de origem animal.

As culturas desenvolvidas pela tDR estão entre os alimentos melhor testados, melhor caracterizados e melhor regulamentados.

O tomate geneticamente modificado foi o primeiro alimento alterado geneticamente comercializado na Europa. Esse tomate, conhecido como *FlavrSavr*, possui a propriedade de retardar a ação da enzima poligalacturonase, que causa o apodrecimento dos frutos, o que permite armazená-los por maior espaço de tempo, aumentar os níveis de pectina e aumentar os rendimentos da colheita devido a menores perdas por apodrecimento.

As bananas foram comprovadas como suporte para uma vacina contra diarreia e cólera, muito menos dispendiosa do que as vacinas tradicionais, tendo-se em conta que 10 milhões de pessoas morrem anualmente de diarreia e que bananas não necessitam de refrigeração como as vacinas tradicionais, sobretudo se forem geneticamente modificadas para conter o gene anti-apodrecimento.

Atualmente, as enzimas geneticamente modificadas usadas no processamento de alimentos são a alfa-acetolactato decarboxilase, em bebidas; alfa-amilase, em cereais e amido, bebidas, açúcar e mel de abelhas catalase do leite e em ovos; ciclodextrina-glucosiltransferase, em cereais; amido beta-glicanase, em bebidas e cereais; amido hemicelulase, em panificação; lipase, triacilglicerol, em gorduras e panificação; e proteases, em queijos, carne, peixe, cereais, amido, bebidas e panificação.

## SEGURANÇA VS. TOXICIDADE

Desde 1995 que se comercializam alimentos em cuja constituição se encontram componentes de plantas geneticamente modificadas (pGM). Os três tipos principais de modificações introduzidas por esta tecnologia são relativas à resistência a herbicidas, a resistência a insetos e a resistência a vírus. No entanto, existem muitos exemplos de pGM ainda não utilizadas em que as modificações se referem a alterações em características qualitativas (teores em ácidos graxos, conteúdos em vitaminas e metabolização de ácido fólico).

Os alimentos podem conter diferentes derivados de pGM. A soja pode ser utilizada para fazer óleo, farinha ou “leite”. O milho pode ser utilizado para fazer xaropes de glucose para adoçante ou para se obter amido usado como espessante. A colza é produzida para se obter um óleo alimentar.

Muito se tem dito acerca do risco dos alimentos que recorrem a produtos de variedades vegetais geneticamente modificadas pela tecnologia do DNA recombinante. Esta questão pode ser dividida em três outras, a primeira relacionada com a possível toxicidade e capacidade para induzir reações alérgicas, uma segunda relacionada com a possibilidade de transferência de resistências a antibióticos, e uma terceira com eventuais efeitos em longo prazo que se venha a manifestar. A análise do potencial risco só pode ser feita caso a caso, pois depende, sobretudo, do tipo de proteína que será expresso e das eventuais alterações das características da planta, eventualmente resultantes da sua manipulação.

As variedades vegetais geneticamente modificadas atualmente comercializadas, e os seus produtos, não são mais tóxicos ou alergênicos do que as plantas ou produtos não transgênicos. Esta afirmação, genericamente suportada pelas mais diversas instituições internacionais, baseia-se não só em pressupostos científicos, mas também em testes efetuados com estes produtos transgênicos, que permitiram a aprovação da sua colocação no mercado. Os testes efetuados são certificados pela Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômicos (OCDE) e são reconhecidos como eficientes pela ampla maioria da comunidade científica e, em particular, pelos especialistas em toxicologia.

As culturas desenvolvidas pela tDR estão entre os alimentos melhor testados, melhor caracterizados e melhor regulamentados. Estes fatos são atestados pelo consenso da maioria da comunidade científica, incluindo a *Royal Society*, a *National Academy of Sciences*; a *World Health Organization*, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations*; a *European Commission*; a *French Academy of Medi-*

*cine*; e a *American Medical Association*.

A *Food and Drug Administration*, nos Estados Unidos, exige os resultados dos seguintes testes para realizar a avaliação de uma nova variedade vegetal transgênica: se as seqüências inseridas são de organismos com histórico de toxicidade ou alergenicidade (normalmente, as seqüências são retiradas de organismos GRAS - *Generally Recognised as Safe*); se as proteínas resultantes da tradução destas seqüências são semelhantes a toxinas e alergênicos conhecidos; se as suas funções são bem conhecidas; se os seus níveis de acumulação na planta geneticamente modificada são baixos; se estas proteínas se degradam rapidamente no trato intestinal; se não apresentam efeitos adversos quando fornecidas a ratos em níveis elevados; se os ensaios de alimentação (durante 42 dias) em galinhas não revelam qualquer efeito adverso.

O DNA (e os genes nele incluídos) é uma molécula não tóxica. Todos os alimentos contêm DNA em maior ou menor quantidade, o qual é facilmente digerido.

Resta, portanto, verificar se o produto das seqüências introduzidas nas pGM é tóxico ou alergênico. No caso das pGM resistentes a insetos - plantas Bt -, por exemplo, estas comportam um gene proveniente de uma bactéria, o *Bacillus thuringiensis*, que é utilizado há cerca de 50 anos na agricultura para controlar diversas pragas. A agricultura “biológica” aprova a sua utilização, e todos os anos milhares de hectares são pulverizados com esporos desta bactéria. As proteínas deste organismo foram ao longo dos anos testadas e não são tóxicas, nem provocam alergias.

Foram os genes desta bactéria que foram isolados e transferidos para as plantas, para que, ao invés de produzir e pulverizar os campos com ela, fossem as próprias plantas a sintetizar a proteína tóxica para o inseto. Foram efetuados novos testes para verificar a toxicidade destas plantas e exceto para os insetos da ordem dos lepidópteros sensíveis à proteína, não se verificou a sua toxicidade. De fato, esta proteína atua provocando poros no intestino das larvas, sendo necessário um pH perto de 9 para que mantenham a sua funcionalidade. Quando consumida por seres humanos a proteína perde rapidamente a sua conformação, e quando atinge o estômago encontra um pH perto de 1, sendo rapidamente metabolizada.

Quanto as proteínas restantes que são sintetizadas por outras pGM (por exemplo as resistentes a herbicidas), chegou-se a mesma conclusão, através de testes específicos de toxicidade e alergenicida-



de. No restante, o conhecimento científico atual permite, através do estudo da seqüência de cada uma das proteínas em questão, prever a sua potencial alergenicidade. Em nenhum dos casos em que as pGM foram aprovadas se verificaram tais pressupostos. As proteínas em questão são facilmente digeríveis, e apresentam-se em muito baixos níveis nos alimentos. Em alguns casos, como nos óleos provenientes da soja ou da colza, apenas se detectam vestígios.

A segunda questão que se levanta é a possibilidade de transferência de resistência a um antibiótico para as bactérias do aparelho digestivo. Neste caso, a questão pode ser dividida em duas partes: é possível a transferência da seqüência que codifica a resistência colocada nas plantas (para permitir selecionar as realmente modificadas) para as bactérias do trato intestinal? E esta transferência é relevante para o caso da resistência em causa? Foram efetuados alguns testes para se calcular a probabilidade de transferência do gene de resistência. A conclusão é de que ao fim de dois anos do indivíduo se alimentar diariamente com 35g de uma planta transgênica fresca, haverá a possibilidade de uma bactéria receber um destes genes. Portanto, a possibilidade existe. Mas qual o seu real significado? A resistência introduzida na maioria dos casos é para a Canamicina. Quarenta por cento das bactérias conhecidas são resistentes a este antibiótico e a maioria das que se encontram no trato intestinal possuem genes de resistência a este composto. Este antibiótico não é utilizado em saúde humana porque se mostra ineficaz para controlar a maioria das infecções. Finalmente, as seqüências codificantes são controladas por promotores que são ativos em plantas, mas, genericamente, não são funcionais em outros organismos.

A última questão relevante para a saúde humana dos produtos transgênicos é se estes poderão produzir efeitos nefastos em longo prazo, por exemplo, por eventual acumulação de componentes tóxicos no organismo. Neste caso, duas questões são importantes: as proteínas e o DNA das plantas transgênicas são diferentes, em essência, das outras proteínas e DNA? E, será que as plantas transgênicas podem produzir compostos estranhos não esperados pelo fato de, por exemplo, os novos genes, ao serem introduzidos no DNA em locais não previsíveis, alterarem o processo de síntese de componentes das plantas, vindo a produzir novos compostos tóxicos desconhecidos?

Para a primeira questão a resposta é simples: o DNA introduzido nas pGM é, em essência, idêntico a

todo o DNA existente, assim como as proteínas que este DNA codifica. Para considerar que existiriam efeitos em longo prazo da ingestão destas substâncias, seria necessário que todas as proteínas e DNA fizessem parte de todos os alimentos consumidos diariamente, o que seria impossível.

A segunda questão levanta outro tipo de problema. É possível prever que a inserção de seqüências de DNA em determinados locais do genoma possa vir a alterar a expressão de genes da própria planta e que isso, hipoteticamente, leve à alteração da via de síntese de compostos normalmente produzidos na planta. Eventualmente, essa alteração poderá vir a conduzir à acumulação de um composto que, eventualmente, poderá não ser degradado na digestão e que, eventualmente, se acumule em algum local do organismo ao longo de anos de consumo, revelando-se fatal para a saúde. Isso se, eventualmente, for possível fazer crescer normalmente uma planta que sofra uma alteração desse tipo.

Dois aspectos devem ser refletidos: o primeiro é o que tantos “eventualmente” quer dizer, ou seja, que estas eventualidades são de fato remotas e muito pouco prováveis; o segundo é que as pGM são os produtos alimentares que sofrem o maior número de testes para, de fato, se eliminarem quaisquer possibilidades de toxicidade. Por outro lado, é necessário o fornecimento das seqüências de DNA que flanqueiam a construção inserida, sendo, portanto, possível verificar se a inserção se deu em algum local sensível do genoma da planta receptora. No restante, esta questão deve ser colocada para cada uma das novas espécies de plantas que são introduzidas no mercado resultantes do cruzamento de espécies diferentes. Com a agravante que neste caso não sabemos realmente como se conjugam os DNA das duas espécies, e que o número de possíveis variantes é enorme. Um exemplo deste tipo de produtos é o *Triticale*, resultante do cruzamento do trigo e do centeio, e que é semeado regularmente em Portugal.

A realidade é que sempre confiamos no trabalho cuidado dos melhoradores de plantas para obterem novas variedades cada vez mais úteis e produtivas. No entanto, quando uma nova tecnologia, difícil de compreender é introduzida, duvidamos da sua capacidade de discernimento. Mas será que compreendíamos melhor como se obtiveram (e ainda se obtêm) as variedades de plantas que sempre foram utilizadas na alimentação? O milho, o terceiro cereal mais produzido em todo o mundo, apresenta uma enorme variabilidade e que parte dessa variabilidade se deve à presença de transposições, os quais transitam, por processos aleatórios de uma porção para outra do genoma. No entanto, nunca se questionou a utilização de novas variedades de milho devido a possibilidade de as transposições interromperem ou alterarem a expressão do genoma desta planta e

virem a produzir compostos tóxicos para o ser humano. Muitas das variedades de trigo atualmente em uso para produção de alimentos foram produzidas por indução de mutações aleatórias, obtidas por submissão a radiação. Também nunca foi questionada a inocuidade dos produtos alimentícios resultantes das variedades assim obtidas.

Portanto, muitos especialistas defendem que as pGM que estão atualmente aprovadas para consumo não são nem mais nem menos prejudiciais à saúde do que as restantes plantas de que nos alimentamos.

A melhor prova de que as plantas transgênicas atualmente comercializadas não são prejudiciais à saúde humana é o fato de que, em 14 anos de utilização intensiva dessas plantas não existir um único relato de afetação da saúde humana por causa desses componentes.

Além disso, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) os alimentos contendo componentes de plantas geneticamente modificadas atualmente no mercado passaram nos testes de avaliação de risco e não se supõem apresentarem riscos para a saúde humana. Ainda segundo a OMS, não foi encontrado até o momento qualquer efeito na saúde humana derivado do consumo de alimentos transgênicos nos países em que os mesmos foram aprovados.

## REGULAMENTAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

No Brasil, a lei que institui normas básicas sobre alimentos data de 21 de outubro de 1969. Nela, está definido como alimento toda a substância ou mistura de substâncias, no estado sólido, líquido, pastoso ou qualquer outra forma adequada, destinadas a fornecer ao organismo humano os elementos normais à sua formação, manutenção e desenvolvimento. Matéria-prima alimentícia é descrita como toda substância de origem vegetal ou animal, em estado bruto, que para ser utilizada como alimento precise sofrer tratamento e/ou transformação de natureza física, química ou biológica. Como rótulo, é indicada qualquer identificação impressa ou litografada, bem como dizeres pintados ou gravados a fogo, por pressão ou decalcação, aplicados sobre o recipiente, vasilhame, envoltório, cartucho ou qualquer outro tipo de embalagem de alimento ou sobre o que acompanha o continente.

No que concerne a alimentos geneticamente modificados, não há uma lei específica para estes, pertencendo, no entanto, a Lei de Biossegurança nº 8974, de 5 de janeiro de 1995, o estabelecimento de normas para o uso das técnicas de engenharia genética e liberação no meio ambiente de organismos geneticamente modificados. Essa Lei estabelece ainda normas de segurança na construção, cultivo, manipulação, transporte, comercialização,

consumo, liberação e descarte do organismo geneticamente modificado (OGM), visando proteger a vida e a saúde do homem, dos animais, das plantas bem como do meio ambiente. Essa Lei não se aplica quando a modificação genética for obtida através das técnicas de mutagênese; formação e utilização de células somáticas de hibridoma natural; fusão celular, inclusive de protoplasma, de células vegetais, que possa ser produzida mediante métodos tradicionais de cultivo; e auto-clonagem de organismos não-patogênicos que se processe de maneira natural; desde que não impliquem a utilização de OGM como receptor ou doador.

No que concerne a alimentos geneticamente modificados, não há uma lei específica para estes, pertencendo, no entanto, a Lei de Biossegurança nº 8974, de 5 de janeiro de 1995, o estabelecimento de normas para o uso das técnicas de engenharia genética e liberação no meio ambiente de organismos geneticamente modificados.

Os produtos contendo OGM destinados à comercialização ou industrialização, provenientes de outros países, só poderão ser introduzidos no Brasil após parecer prévio conclusivo da CTNBio (Conselho Técnico Nacional de Biossegurança) e a autorização do órgão de fiscalização competente, levando-se em consideração pareceres técnicos de outros países, quando disponíveis.

Toda entidade que utilizar técnicas e métodos de engenharia genética deverá criar uma Comissão Interna de Biossegurança, além de indicar um técnico principal responsável por cada projeto específico.

Em linhas gerais são estas as legislações e regulamentações disponíveis no momento sobre alimentos geneticamente modificados, devendo com o rápido desenvolvimento das biotecnologias, serem elaboradas leis específicas que irão regulamentar a disponibilidade dos alimentos geneticamente modificados no Brasil.

Já nos Estados Unidos, a FDA (*Food and Drug Administration*) considera que a regulamentação relativa a substâncias geneticamente modificadas usadas como ingredientes em alimentos é a mesma do que aquela usada para alimentos de um modo geral, ou seja, se um ingrediente alimentício

que foi produzido através de modificação genética for “venenoso ou deletério”, de acordo com a definição dada na regulamentação, este ingrediente será considerado como “adulterado” e é ilegal para uso. Se um ingrediente que é produzido através de modificação genética não for reconhecido como “GRAS” (“usual-

mente reconhecido como seguro”), este ingrediente é considerado como sendo um “aditivo de alimento” e não poderá ser utilizado em alimentos sem primeiramente ter obtido aprovação do FDA como “aditivo de alimento”. No entanto, se um aditivo de alimento que é produzido através de modificação genética for de fato “GRAS”, neste caso a lei não exige aprovação do FDA. As firmas interessadas poderão, voluntariamente, submeter uma petição ao FDA para confirmação do “GRAS” ou poderão simplesmente auto afirmar que o ingrediente é “GRAS” para uso e comercializá-lo.

Entretanto, se uma firma está considerando a possibilidade de comercializar uma substância alimentícia que foi recentemente produzida por modificação genética, e a firma acredita que a substância é “GRAS”, o FDA recomenda fortemente que a firma o consulte a cerca da matéria, antes de distribuir a substância.

Considerando que um ingrediente alimentício foi produzido através de modificação genética, o FDA não exige que seja revelado este fato no rótulo dos alimentos, mas somente se a modificação genética resultar na presença de um componente alergênico.

A regulamentação mais específica sobre o uso de substâncias geneticamente modificadas como ingredientes alimentícios foi publicada no Registro Federal de 29 de maio, 1992 (57 Fed. Reg. 22984-23005) sob o título: “Alimentos derivados de novas variedades de plantas”.

Os pontos mais importantes desta regulamentação são que qualquer substância que for adicionada a um aditivo alimentar ou quando tal nível estiver aumentado no ingrediente alimentar devido a modificação genética do ingrediente, ela estará sujeita ao que o FDA chama de proibição “mais adstringente”, devendo ser considerado este ingrediente alimentar como “adulterado” ou contendo substância “venenosa ou deletéria” que causaria prejuízo à saúde; quando um ingrediente alimentício derivado da natureza for modificado de qualquer maneira ou produzido por um processo novo, o produtor deverá determinar se o ingrediente resultante ainda se encontra dentro do escopo de qualquer regulamentação existente de aditivo alimentar aplicável ao ingrediente original ou se o ingrediente é excluído da regulamentação como aditivo alimentar por que ele é “GRAS” (“usualmente reconhecido como seguro”); a consulta voluntária ao FDA pela firma é recomendada em caso de dúvidas.

Quanto a rotulagem, o consumidor terá que ser informado através de rotulagem apropriada, se um alimento derivado de uma nova variedade de planta difere de sua contraparte tradicional, de tal forma que o nome usual ou comum não mais se aplique ao novo alimento ou se existe uma indicação de segurança ou de uso sobre a qual os consumidores devam ser alertados.

A regulamentação 57 Fed. Reg., diz que um ingrediente derivado de novas variedades de plantas por técnicas de DNA recombinantes, devem ser identificadas na lista de ingredientes, através de seu nome usual ou na ausência deste, por termo apropriado.

O ingrediente rotulado necessita revelar “todos os fatos que sejam materiais à luz das representações sugeridas pela rotulagem ou relativas às conseqüências que resultarem de seu uso”.

Na União Européia, a regulamentação da EC nº 258/97 que entrou em vigor em 15 de maio de 1997 diz que novos alimentos ou novos ingredientes de alimentos deverão ter autorização antes de serem colocados no mercado da Comunidade.

A regulamentação se aplica a alimentos e ingredientes de alimentos que não tenham sido usados para consumo humano em grau significativo e se encontrem entre as seis categorias listadas no Art. 1 § 2 (a -f), que são: alimentos e aditivos de alimentos contendo ou consistindo de organismos geneticamente modificados (OGM); alimentos ou aditivos de alimentos produzidos de, mas não contendo OGM; alimentos e aditivos de alimentos com uma nova estrutura primária intencionalmente modificada; alimentos e aditivos de alimentos consistindo de ou isolados de microorganismos, algas ou fungos; alimentos e aditivos de alimentos consistindo de ou isolados de plantas ou ingredientes de plantas isoladas de animais; um processo de produção não correntemente usado.

Alimentos e aditivos de alimento contendo ou consistindo de organismos geneticamente modificados exigem sempre autorização, enquanto que para alimentos e aditivos de alimentos produzidos de, mas não contendo organismos geneticamente modificados é suficiente apenas uma notificação.

Um requerimento deverá ser submetido às autoridades competentes de um Estado-Membro e uma cópia deverá ser entregue à Comissão. É importante notar que como parte do requerimento, deverá ser apresentada uma proposta de rotulagem do novo alimento ou novo aditivo de alimento, sendo que o Estado-Membro se encarregará de uma determinação inicial que será usualmente efetuada por um corpo competente em alimentos de Estado-Membro. Os outros Estados-Membros serão comunicados a respeito do requerimento.

Como resultado da determinação inicial do Estado-Membro, deverá ser apresentada uma proposta de autorização ou pedida uma determinação

adicional. Os demais Estados-Membros receberão o relatório da determinação inicial e tem 60 dias para comentar ou objetar. Se não existirem objeções, a autorização entrará em vigor. Caso hajam objeções, uma determinação adicional será realizada.

Uma variedade de milho geneticamente modificada e uma de soja foram legalmente introduzidas no mercado, antes que a regulamentação acima citada tenha entrado em vigor.

Assim sendo, a fim de garantir a rotulagem de alimentos e ingredientes de alimentos, o Conselho adotou uma regulamentação específica EC nº 1139/98 em 26 de maio de 1998.

Basicamente a regulamentação diz que a indicação na rotulagem deve informar ao consumidor que milho/soja geneticamente modificados foram usados.

Não haverá necessidade de rotulagem se não tiver sido encontrado nenhum traço de DNA modificado ou de proteína.

Uma chamada “lista negativa” será elaborada pelo Conselho e pela Comissão, sendo listados na mesma os produtos que não contenham nem DNA nem proteínas geneticamente modificadas, como é o caso de óleos altamente refinados, tais como óleo de colza.

Na Europa, são atualmente permitidas três culturas geneticamente modificadas: feijão de soja (46%), resistente à pulverização da cultura; milho doce (7%), resistente à pulverização e apto a produzir inseticida; e colza (11%), resistente à pulverização e não passível de produzir pólen (não podendo, por isso, polinizar outras plantas). Essas três plantas foram aprovadas para importação e fabricação de produtos alimentares. A colza e o milho estão igualmente aprovados para cultivo. A alfaca chicória geneticamente modificada está igualmente aprovada para cultivo, mas é utilizada unicamente no processamento e não como produto alimentar.

Desde 1998 que não são aprovadas na Europa quaisquer outras plantas geneticamente modificadas, o que resulta da regulamentação aprovada pela União Européia no sentido de suspender as aprovações. A razão subjacente a esta decisão foi dar mais tempo para ponderar os riscos relacionados com as plantas geneticamente modificadas e aguardar nova regulamentação mais rigorosa sobre a rotulagem e a avaliação de riscos.

Em 2001 a área de culturas geneticamente modificadas era de 52,6 milhões de hectares, em todo o mundo. A soja responde por 63% da área cultivada com culturas geneticamente modificadas, seguida pelo milho, com 9,8 milhões de hectares (19%), pelo algodão, com 6,8 milhões de hectares (13%), e pela canola, com 2,7 milhões de hectares (5%).

Quatro países produzem 99% das culturas geneticamente modificadas do mundo, Estados Unidos (68%), Argentina (22%), Canadá (6%) e China (3%).

Quatro países produzem 99% das culturas geneticamente modificadas do mundo, Estados Unidos (68%), Argentina (22%), Canadá (6%) e China (3%)