

BIOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA: RISCOS E BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS

Aluizio Borém

BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA

Após acumular conhecimentos e experiência, a biotecnologia moderna, em sua definição atual, inclui as várias técnicas que utilizam o DNA recombinante (engenharia genética) para desenvolver produtos ou serviços. Não restam dúvidas de que a biotecnologia do século XXI é muito diferente daquela de quando esse termo foi usado pela primeira vez, no século passado, para descrever procedimentos de produção de vinhos, pães e derivados lácteos.

No contexto atual, tais técnicas dificilmente se enquadrariam na biotecnologia e não são abordadas neste livro. De forma semelhante, embora se adote uma definição abrangente, a manipulação de plantas por meio de enxertia, o uso de microrganismos para fermentação e outros procedimentos relacionados não serão tratados neste capítulo. O que distingue os procedimentos citados daqueles desenvolvidos pela biotecnologia moderna não são os princípios envolvidos, mas as técnicas utilizadas. Por exemplo, o melhoramento genético convencional e o melhoramento molecular compartilham vários aspectos e têm, muitas vezes, o mesmo objetivo: ambos buscam desenvolver variedades mais úteis ao homem. A biossegurança, por outro lado, é o conjunto de ações voltadas para a prevenção, minimização ou eliminação de riscos inerentes às atividades de pesquisa, produção, ensino, desenvolvimento tecnológico e prestação de serviços, visando à saúde do homem e dos animais, a preservação do meio ambiente e à qualidade dos resultados.

Nas últimas quatro décadas, as questões ambientais passaram a integrar, de forma proeminente, fóruns científicos internacionais. Estes são decorrentes, entre outras razões, do aumento da poluição atmosférica e hídrica, em razão principalmente de gases e resíduos derivados da indústria e dos meios de transporte que geram o aquecimento global. Além disso, outras questões de caráter social passaram a preocupar cada vez mais a comunidade internacional. Estimativas do Banco Mundial mostram que cerca de 20% da população do mundo não tem acesso à água potável. A preservação ecológica nunca esteve em tanta evidência como agora.

Nesse cenário surgiu a engenharia genética, no início da década de 1970, na Califórnia, EUA, por meio da transferência e expressão do gene da insulina em *Escherichia coli*. Essa experiência, de 1973, provocou forte reação da comunidade científica mundial, o que culminou com a Conferência de Asilomar, em 1974. Nesta, a comunidade científica praticamente propôs uma moratória para o uso da engenharia genética até que se estabelecessem mecanismos para garantir que suas técnicas poderiam ser utilizadas sem riscos para o homem e o meio ambiente. Em um prazo relativamente curto, desenvolveram-se regras de biossegurança para uso dessas tecnologias em laboratório, e não se tem notícia de nenhum efeito adverso do uso da engenharia genética para a saúde humana e animal ou para o meio ambiente nesses mais de 45 anos de pesquisas com a biotecnologia.

Algumas ONGs têm organizado manifestações contra os organismos geneticamente modificados (GM), apesar de eles terem se mostrado seguros para consumo humano e plantio em larga escala e de trazerem benefícios socioecológicos.

Figura 1 – Manifestação contra o uso de organismos geneticamente modificados (GM).



Fonte – O autor.

Vários produtos derivados da tecnologia do DNA recombinante são atualmente comercializados no mundo. No Brasil os seguintes produtos transgênicos já se encontram no mercado: insulina, somatotropina, variedades transgênicas de milho, soja, algodão, cana etc.

Embora a insulina produzida por bactérias transgênicas já seja comercializada no Brasil há bastante tempo, o lançamento das variedades de plantas transgênicas no mercado mundial despertou uma nova ótica na avaliação dos riscos dos Organismos Geneticamente Modificados (OGM) para a saúde humana e animal e para o meio ambiente. Testes de campo com variedades transgênicas têm sido conduzidos na Argentina, na Bolívia e no Chile desde 1991. No Brasil, esses testes foram iniciados em 1997.

BIOSSEGURANÇA AGROPECUÁRIA

A necessidade de regulamentação dos organismos geneticamente modificados tornou-se mais evidente em meados de 1980, quando as empresas de biotecnologia buscaram permissão para realizar pesquisas com esse tipo de organismo. Atualmente, a regulamentação das normas de biossegurança no mundo é realizada caso a caso, com base em aspectos técnicos e científicos, com transparência nos processos de tomada de decisão e consistência, construindo a confiança pública.

Em 1979, o Brasil produzia cerca de 39 milhões de toneladas de grãos. Na safra 2016-2017, essa produção aumentou para 215 milhões. O país mais que quintuplicou a produção agrícola em 38 anos. Esse aumento ocorreu graças à elevação da produtividade e à expansão da fronteira agrícola.

A biotecnologia tem um papel essencial na produção de alimentos, pois permite aumentar a produtividade, melhorar a qualidade nutricional e reduzir os custos de produção. Um dos setores que está sendo fortemente afetado pela biotecnologia é o de defensivos agrícolas, que hoje tem direta relação com a agricultura e manipula algo em torno de US\$ 40 bilhões, anualmente. Desse valor, cerca de US\$ 10 bilhões/ano correspondem aos chamados defensivos agrícolas usados para o controle de doenças, pragas e espécies daninhas. Em alguns casos, o custo dos agrotóxicos em relação ao custo total da produção atinge cerca de 40%, como no caso do algodão.

A engenharia genética desenvolveu variedades resistentes a insetos, fungos, bactérias e vírus, permitindo, assim, diminuir o custo da produção agrícola, além de reduzir os resíduos dos produtos fitossanitários que causam danos ao meio ambiente e à saúde humana. Entretanto, toda nova variedade geneticamente modificada precisa passar pelo crivo da biossegurança, para análise de sua segurança alimentar e ambiental. Dentre os aspectos ambientais, precisa ser analisado o risco de fluxo gênico, isto é, de transferência do transgene para outras entidades biológicas (plantas silvestres, por exemplo). Os riscos de desenvolvimento de resistência de plantas daninhas a herbicidas e de insetos às toxinas Bt também são avaliados. Quanto aos aspectos da saúde humana e animal, a nova variedade precisa ser substancialmente equivalente à sua contraparte convencional. Sendo assim, sem riscos de toxicidade ou de alergenicidade. Embora não seja atribuição da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), o risco de aumento do uso de defensivos agrícolas sempre precisa ser considerado.

BIOSSEGURANÇA DE TRANSGÊNICOS

Vários países – incluindo Brasil, Argentina, Chile, México e Venezuela, na América Latina – estabeleceram, por meio de legislações específicas, normas de biossegurança para regular o uso da engenharia genética e a liberação, no meio ambiente, de organismos geneticamente modificados. No Brasil, essas normas estão reguladas pela Lei nº 11.105, sancionada em 24 de março de 2005. Essa lei criou ainda a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), o Conselho Nacional de Biossegurança (CNS), também conhecido como Conselho de Ministros, e o Serviço de Informação em Biossegurança (SIB).

A CTNBio é composta por 27 membros titulares e seus suplentes, dentre os quais especialistas indicados pela comunidade acadêmica, com notório saber científico nas áreas humana, animal, vegetal e ambiental, obrigatoriamente com doutorado, além de representantes dos Ministérios. A Comissão reúne-se mensalmente para certificar a segurança de laboratórios e experimentos relativos à liberação de organismos geneticamente modificados no meio ambiente e para julgar pedidos de experimentos e de plantios comerciais de produtos que contenham OGMs.

A CTNBio analisa, caso a caso, as solicitações que lhe são encaminhadas, emitindo pareceres que são específicos para o transgênico alvo da avaliação. Antes da liberação para plantio, comércio ou utilização de qualquer produto transgênico, ele deve ser submetido a análises sobre seus possíveis riscos para o homem, para os animais e para o meio ambiente. Os resultados dessas análises são avaliados pela CTNBio, que então faz a recomendação de liberação dos transgênicos que não oferecem riscos à saúde humana ou animal ou ao meio ambiente. Os produtos transgênicos suspeitos de apresentarem algum efeito nocivo à saúde humana, animal ou ao meio ambiente são vetados para comercialização pela CTNBio.

Assim, antes da liberação de qualquer produto biotecnológico no setor agropecuário é necessária uma rígida avaliação do produto quanto aos possíveis impactos negativos à saúde humana, animal e ao meio ambiente.

Agências congêneres reguladoras nos EUA

Nos Estados Unidos, as agências que examinam a segurança das variedades geneticamente modificadas são a Environmental and Protection Agency (EPA), a Food and Drug Administration (FDA), o Department of Health and Human Services (HHS) e o Animal and Plant Health Inspection Service (Aphis), do USDA.

O Aphis regula o desenvolvimento e os testes de campo tanto de plantas quanto de microrganismos geneticamente modificados. Ele revisa os processos de licença para a realização de testes de campo pelas

indústrias, universidades e ONGs. Os processos relacionados com a segurança agrícola e ambiental de organismos pesticidas, como a soja RR, também são revisados por essa agência.

A responsabilidade da EPA é garantir a segurança de OGM's praguicidas, substâncias químicas e biológicas para distribuição, comércio e consumo e também de variedades que produzem elementos pesticidas.

O FDA avalia a segurança e os aspectos nutricionais de variedades geneticamente modificadas que são alimentos (inclusive para animais). Sua diretriz tem como base o fato de que todo alimento deve satisfazer os mesmos rigorosos padrões de segurança requeridos para os alimentos convencionais.

Agências congêneres em outros países

A regulamentação da biossegurança é realizada em cada país por meio de agências locais: no Canadá, pela Health Canada and Canadian Food Inspection Agency; no Japão, pelo Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries e pelo Ministry of Health, Labour and Welfare; e na Argentina pela CONABia. No Brasil, tanto a elaboração de normas técnicas de biossegurança como a revisão técnica dos processos de liberação de transgênicos são de responsabilidade da CTNBio.

VARIEDADES TRANSGÊNICAS

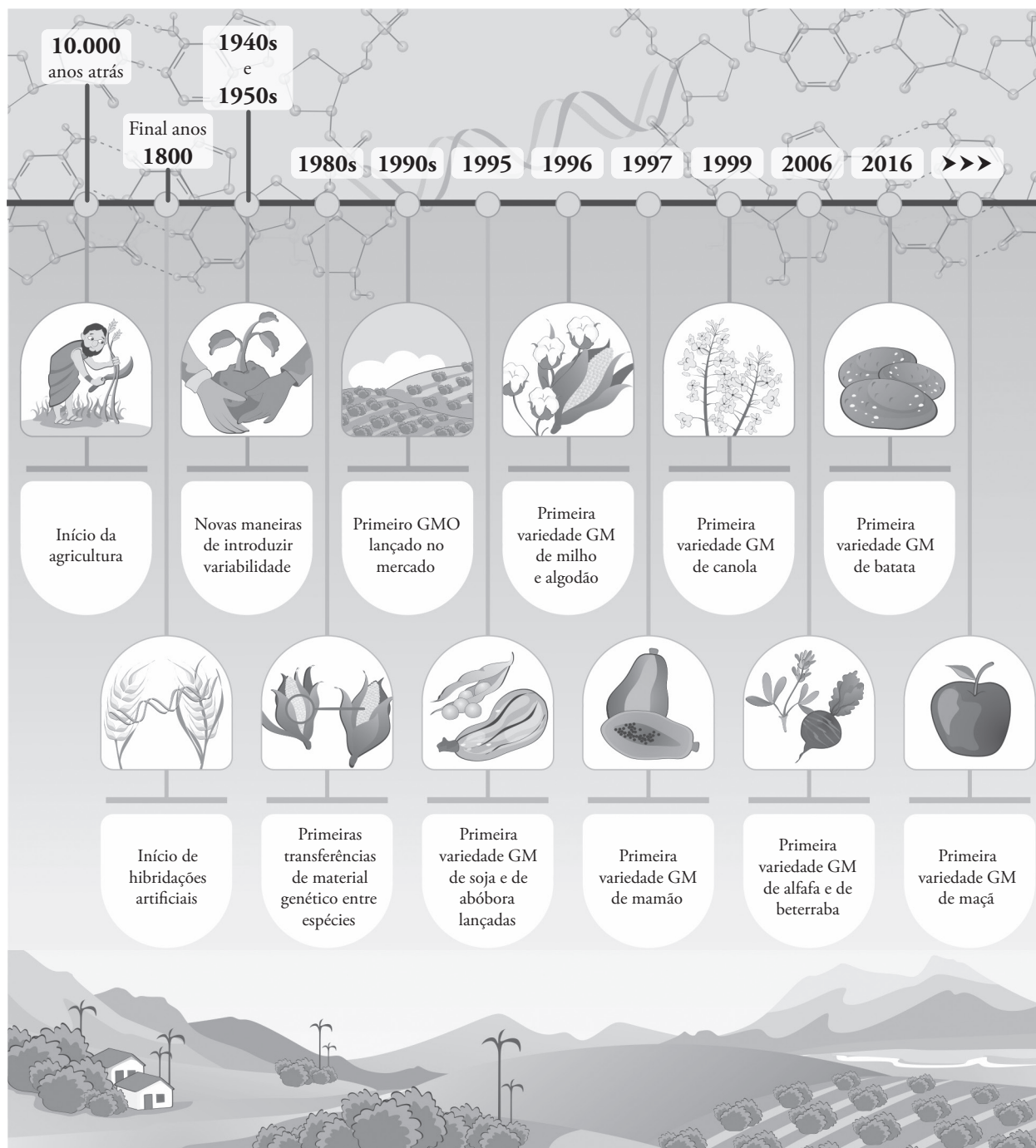
As primeiras plantas transgênicas começaram a ser testadas em campo no início da década de 1980. Até hoje, já foram realizados mais de 70.000 testes de campo no mundo.

Já as variedades transgênicas começaram a ser comercializadas na década de 1990, inicialmente pela Calgene, que ofereceu o tomate geneticamente modificado *Flavr Savr* (BORÉM; SANTOS; PEREIRA, 2016). Atualmente, variedades transgênicas de soja, milho, algodão, canola e mamão, entre outras, já têm participação relevante na agricultura mundial.

No Brasil, já foram liberadas pela CTNBio para plantio, consumo e comercialização variedades transgênicas de soja, milho, algodão, feijão eucalipto e cana de açúcar. Além dessas, variedades transgênicas, muitas outras espécies deverão chegar ao mercado nos próximos anos. As espécies citadas têm como características transgênicas a resistência a insetos, a tolerância a herbicidas e a melhor qualidade nutricional, como no caso da canola, cuja composição lipídica foi alterada para diminuir o conteúdo de ácidos graxos indesejáveis, característica especialmente importante para a dieta de pacientes cardíacos.

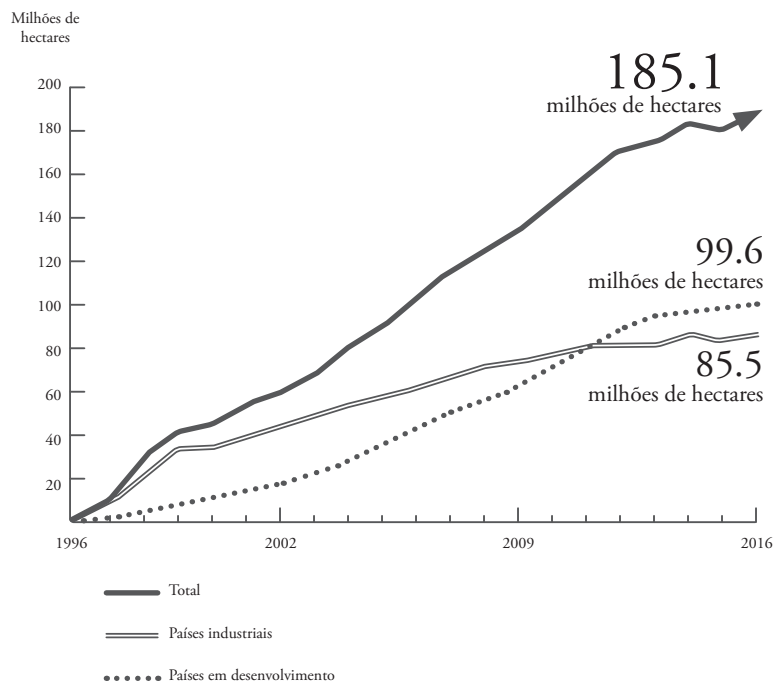
A Figura 2 apresenta a linha do tempo do desenvolvimento de variedades transgênicas, enquanto a Figura 3 mostra a evolução da área cultivada com OGM globalmente.

Figura 2 – Linha do tempo no desenvolvimento de variedades transgênicas.



Fonte – O autor.

Figura 3 – Área global com variedades transgênicas até 2016.



Fonte – Celeres, 2017.

ANIMAIS TRANSGÊNICOS

As dificuldades adicionais na transformação gênica de animais adiaram sua chegada ao mercado. O primeiro animal transgênico comercializado foi o *oncomouse*, um camundongo no qual foi introduzido um gene do câncer. Esse animal é utilizado em estudos de drogas para tratamento do câncer.

No setor de alimentos, o primeiro animal transgênico colocado no mercado norte-americano foi o salmão. Essa espécie de peixe foi modificada para produzir maior quantidade de hormônio de crescimento. O salmão transgênico cresce mais rapidamente que os convencionais e tem uma taxa de conversão alimentar cerca de 15% superior à dos não transgênicos. Nos Estados Unidos, ele já foi liberado para comércio e está sendo comercializado.

Outros animais transgênicos, como bovinos, suínos, ovinos e caprinos, estão em fase final de avaliação e devem ser colocados no mercado nos próximos anos. A avaliação técnica da biossegurança dos animais transgênicos normalmente é menos complicada do que a elaboração de pareceres técnicos para liberação de plantas transgênicas. No entanto, a criação de animais transgênicos sofre várias críticas de outros órgãos, como sociedades protetoras de animais e comissões de ética em experimentação animal.

POSSÍVEIS RISCOS DOS TRANSGÊNICOS

Os principais riscos dos transgênicos podem ser agrupados em dois grupos: à saúde humana e animal e ao meio ambiente. Todo alimento geneticamente modificado, antes de ser liberado para plantio comercial e/ou consumo, passa pelas análises de biossegurança com o intuito de se identificar possíveis riscos de intoxicação, alergia, aumento de resistência aos antibióticos.

Com relação ao meio ambiente, os principais aspectos avaliados são: fluxo gênico, efeitos adversos à flora microbiana do solo, efeitos adversos a organismos benéficos, possibilidade de seleção de resistência etc.

Biossegurança alimentar

A segurança alimentar de plantas transgênicas é avaliada de acordo com os princípios de uma metodologia denominada ‘análise de riscos’. Ela foi desenvolvida inicialmente com o objetivo de avaliar efeitos deletérios na saúde humana advindos de potenciais substâncias químicas tóxicas presentes em alimentos, como resíduos de pesticidas, contaminantes e aditivos alimentares, sendo posteriormente aplicada na avaliação da segurança alimentar de plantas GM.

Um dos fundamentos da metodologia de análise de riscos é que as plantas transgênicas não são intrinsecamente mais nocivas que as convencionais, ou seja, os eventuais riscos alimentares que uma variedade transgênica pode oferecer não são decorrentes do fato de ela ser transgênica, mas sim das eventuais alterações químicas que podem resultar da modificação genética. (KOING, 2004). Por exemplo, uma planta de feijão GM expressando uma proteína alergênica de castanha-do-pará será alergênica não por ser obtida por ferramentas de engenharia genética, mas pelo fato de a modificação genética ter incorporado uma proteína alergênica a essa variedade.

É evidente que, de forma geral, uma planta transgênica tem uma proteína que não está presente nas variedades convencionais. Ela foi codificada pelo transgene e introduzida exatamente com o propósito de conferir a característica que se deseja ser incorporada. No entanto, além dessa diferença, outras alterações bioquímicas podem ser resultantes da introdução de um transgene, mas tudo isso é investigado exaustivamente durante os estudos de segurança alimentar.

No caso de plantas transgênicas, a análise de riscos é realizada pela comparação delas com as plantas não GM equivalentes, que são consideradas seguras pelo histórico de uso. Por essa metodologia, em vez de se tentar identificar cada perigo associado à variedade GM procura-se identificar novos perigos que não estejam presentes na variedade tradicional.

Essa diferença pode parecer pequena, mas tem profundas implicações. Quando se analisa se uma planta GM é segura, estudam-se vários aspectos composicionais, além de vários ensaios com modelos animais para a avaliação de possíveis riscos. Por meio dessa análise comparativa surge o termo ‘equivalência substancial’. Com base na comparação entre o perfil bioquímico da variedade transgênica e o da convencional, a variedade GM pode ser classificada como substancialmente equivalente ou substancialmente não equivalente.

Nesse ponto, deve-se esclarecer que a avaliação da segurança alimentar de uma planta GM não se restringe à aplicação do conceito de equivalência substancial. Esse se constitui somente no ponto de partida dessa avaliação, que visa à identificação das diferenças que serão posteriormente analisadas. As análises incluem testes de alergenicidade e de toxicidade realizados *in silico*, *in vitro* e estudos com animais (roedores, aves, peixes e outros) para se avaliar sua segurança. Nessas análises, em geral, é determinada a DL_{50} (dose letal em 50% dos casos) como um indicativo da toxicidade aguda, isto é, de curto prazo.

As análises de riscos são realizadas em três etapas:

- Avaliação de riscos – nela se avalia a probabilidade de efeitos adversos à saúde advindos da exposição humana ou animal a um perigo. Ela consiste de quatro etapas:
 - I) identificação do perigo – reconhecimento, em um alimento, de agentes biológicos, químicos e físicos capazes de causar efeitos prejudiciais à saúde;
 - II) caracterização do perigo – avaliação, em termos qualitativos e quantitativos, de um perigo identificado. Frequentemente, envolve o estabelecimento de uma relação dose-resposta em razão da magnitude de exposição (dose) a um agente físico, químico ou biológico e da severidade dos efeitos adversos à saúde;
 - III) avaliação da exposição – estimação quantitativa e qualitativa da probabilidade de ingestão de agentes físicos, químicos e biológicos por meio da alimentação;
 - IV) caracterização do risco – estimação qualitativa e quantitativa da probabilidade de ocorrência e severidade de um efeito contrário à saúde com base na identificação e caracterização do perigo e na avaliação da exposição.
- Gerenciamento de riscos – medidas tomadas com base nos resultados da avaliação de riscos e em outros fatores legítimos, visando reduzir os riscos para projetar a saúde dos consumidores. Medidas de gerenciamento podem incluir rotulagem, imposição de condições para aprovação comercial e monitoramento pós-comercial.
- Comunicação de riscos – troca de informações que deve ser realizada entre todas as partes interessadas, incluindo governo, indústria, comunidade científica, mídia e consumidores. Ela deve acontecer durante todo o processo de avaliação e gerenciamento de riscos e incluir a explicação das decisões para o público, garantindo a ele o acesso aos documentos obtidos por meio da avaliação de riscos e ao mesmo tempo respeitando o direito de salvaguardar a confidencialidade de informações industriais e comerciais.

As variedades transgênicas são consideradas seguras para o consumo humano por diversas instituições científicas renomadas, como a Organização Mundial de Saúde, o Conselho Internacional para Ciência, a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, a Sociedade Real de Londres e as Academias Nacionais de Ciências de vários países: Brasil, México, Índia, Estados Unidos, Austrália, Itália entre outros.

Biossegurança ambiental

De forma semelhante à avaliação de riscos alimentares, a avaliação de riscos ambientais considera três pontos importantes: possibilidade, probabilidade e consequência de um perigo, o qual deve ser sempre avaliado caso a caso. Isso significa que, após a identificação de um possível perigo, deve-se considerar se ele é possível, provável e, se vier a ocorrer, qual é sua consequência. (CONNER *et al.*, 2003).

No caso específico de avaliação de riscos de plantas GM, um quarto ponto também deve ser considerado: os riscos decorrentes da não adoção dessa tecnologia.

Uma premissa essencial em qualquer avaliação de riscos é o estabelecimento de parâmetros corretos de comparação. Como descrito, na avaliação de segurança alimentar a planta GM é comparada com plantas não GM equivalentes. De forma análoga, o impacto ambiental de plantas transgênicas deve ser avaliado em relação ao impacto causado pela variedade convencional.

Esses princípios são essenciais para orientar sobre quais ensaios devem ser realizados e quais perguntas devem ser respondidas, de forma a gerar informações que auxiliem na tomada de decisão de se utilizar ou não determinada planta transgênica. A não observância desses princípios pode ter como consequência ensaios desnecessários e que não ajudam na correta avaliação de riscos.

Por exemplo, o cultivo de algodão transgênico resistente a insetos no Brasil suscitou preocupações em relação ao escape gênico, ou seja, à possibilidade de cruzamento da variedade transgênica com duas espécies silvestres do gênero *Gossypium*, que são sexualmente compatíveis com o algodão cultivado. (CARVALHO *et al.*, 2000). Os questionamentos partem da possibilidade de grãos de pólen originários de algodão transgênico fertilizarem plantas de algodão silvestres. A progênie desse cruzamento poderia sofrer retrocruzamentos, levando à introgressão do transgene, o que poderia ter consequências para a manutenção da diversidade genética.

O escape gênico de plantas transgênicas pode ocorrer de três maneiras principais: 1) quando a planta transgênica se torna uma espécie daninha; 2) quando o DNA transgênico é transferido, por cruzamento, para espécies silvestres ou outras variedades cultivadas; e 3) quando o DNA transgênico é transmitido assexuadamente para outras espécies e organismos.

Para que o escape gênico entre distintas espécies ocorra por transmissão sexual, algumas condições são necessárias: 1) os dois indivíduos parentais devem ser sexualmente compatíveis; 2) deve ocorrer sobreposição no período de florescimento entre os dois tipos parentais; 3) um vetor de pólen adequado deve estar presente e ser capaz de transferir o pólen entre os indivíduos e 4) a progênie resultante deve ser fértil e ecologicamente adaptada às condições ambientais onde os parentais estão situados.

Plantas de milho e soja não têm atributos biológicos para ‘escapar’ e se estabelecerem como espécie daninha. O milho é resultado de uma espécie de polinização eólica, e as distâncias que o pólen pode percorrer dependem do padrão do vento, da umidade e da temperatura. Em geral, campos com essas variedades devem ser isolados de outras variedades convencionais com uma distância de pelo menos 200 m. O risco de escape gênico da soja e do milho para parentes silvestres no Brasil é considerado, pela

maioria dos cientistas, pequeno ou inexistente. No entanto, se a espécie transgênica fosse o feijão, esse risco seria real, pois existem aqui várias espécies de feijão silvestres. Em outros países, o risco do escape gênico com soja ou milho pode ser significativo.

O artigo **Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico**, publicado na revista **Nature** em 2001, relata a presença de sequências típicas de variedades geneticamente modificadas em milho silvestre da região da Sierra Norte, na Província de Oaxaca, sul do México. Vários questionamentos foram levantados sobre os resultados publicados no artigo supracitado, como o texto **Corn goes Pop, then kaboom**, apresentado pelo jornal **The Scientist**, que afirma ter a revista **Nature** se precipitado ao publicar o referido artigo, uma vez que as conclusões foram baseadas em artefatos dos dados de PCR.

A diversidade genética e de espécies deve ser preservada, pois pode ser futuramente útil no desenvolvimento de novas variedades sempre que outros desafios surgirem para os melhoristas, a exemplo de uma doença inédita para a qual não se conhece uma fonte de resistência.

Quanto ao risco das variedades Bt para insetos benéficos, como abelhas e joaninhas, as evidências apontam que a dose letal (DL_{50}) é muito superior à que os insetos estarão expostos em campos plantados com essas variedades transgênicas.

Embora a segurança das variedades Bt para a borboleta-monarca tenha sido inicialmente questionada, trabalhos conduzidos por diferentes grupos evidenciaram sua segurança, inclusive para esses insetos. (TABASHNIK, 1994; CAO *et al.*, 1999).

Um estudo realizado sob os auspícios da União Europeia acerca dos impactos ambientais ocasionados pelo cultivo de plantas GM, que foi conduzido durante 15 anos (1985-2000) e envolveu 400 instituições públicas de pesquisa, chegou à seguinte conclusão: “a pesquisa demonstra que, de acordo com avaliações de riscos-padrão, as variedades GM e seus produtos não apresentam riscos para a saúde humana ou o ambiente. De fato, o uso de tecnologia mais precisa e as análises mais acuradas conduzidas durante a fase de regulação tornam estas variedades e seus produtos derivados até mais seguros do que os convencionais”. (EUROPEAN UNION, 1999).

Além dos aspectos relacionados ao fluxo gênico, os possíveis efeitos adversos do OGM para a microbiota do solo, para organismos não alvo, como os insetos benéficos (abelhas, inimigos naturais das pragas etc.), e a possibilidade de seleção de pragas resistentes são criteriosamente investigados antes da liberação da variedade transgênica para plantio comercial. Todos os resultados de pesquisa e o consumo ao longo dos últimos 25 anos atestam que esses alimentos GM são seguros para a saúde humana e animal e para o meio ambiente.

PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DOS TRANSGÊNICOS

No Brasil, os alimentos geneticamente modificados já representam mais de 90% das plantações de soja, milho e algodão e têm trazido os seguintes benefícios para a sociedade:

1. Aumentam a produção de alimentos – plantas transgênicas resistentes a pragas e doenças e livres da concorrência de plantas daninhas se desenvolvem melhor, com menos riscos de perdas de produção e aumento da produtividade. Assim, elevam a oferta de alimentos para a população, como no caso do milho e soja.
2. Reduzem o custo de produção – mesmo com os custos da aquisição de sementes transgênicas (em que há o pagamento de *royalties*), agricultores afirmam que o investimento é altamente rentável. Isso porque as variedades tolerantes a herbicidas e as resistentes a pragas proporcionam considerável redução no custo dos defensivos agrícolas utilizados.
3. Contribuem para a redução do efeito estufa – segundo o estudo **Os benefícios socioambientais da biotecnologia agrícola no Brasil**, realizado pela Céleres, ao exigir menos aplicações de defensivos, as lavouras com transgênicos emitem menos poluentes por tratores e máquinas movidas a diesel. Com o menor consumo de combustível há significativa redução de CO₂ na atmosfera. Globalmente, a adoção de OGM gerou uma redução nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) equivalente à retirada de cerca de 12 milhões de carros das ruas em um ano, segundo o CIB.
4. Permitem o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis – com a biotecnologia os cientistas já desenvolveram variedades de soja cujo óleo é mais saudável sob o ponto de vista coronariano. Embora essas variedades de alimentos ainda não estejam disponíveis no Brasil, há perspectivas de que elas também sejam cultivadas por aqui. No mundo, há vários projetos em fase de aprovação, como o arroz *Golden Rice*, na Bélgica (enriquecido com vitamina A); a batata *Innate*, nos Estados Unidos (com menor teor de substâncias cancerígenas na fritura), e uma ração de peixe que aumenta a síntese de ômega 3, na Grã-Bretanha.
5. Contribuem para a redução do gás metano – a pecuária responde por 16% das emissões mundiais de gás metano (CH₄), um dos principais causadores do efeito estufa. Cientistas do Instituto AgResearch, da Nova Zelândia, desenvolveram forrageiras geneticamente modificadas que reduzem as emissões do gás metano CH₄ pelo gado.
6. Trazem benefícios sociais – variedades transgênicas resistentes a pragas, como as variedades Bt de algodão, milho e soja, requerem menor número de aplicações de defensivos agrícolas, liberando o operador rural para dedicar seu tempo a outras atividades que não a pulverização, como as relacionadas à família.
7. Aumentam a renda do produtor – do ponto de vista econômico, essa tecnologia contribuiu para o aumento de renda de aproximadamente 18 milhões de agricultores. No Brasil, um levantamento da consultoria britânica PG Economics revelou que, entre 2013 e 2015, os benefícios econômicos acumulados chegaram a R\$ 52 bilhões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após mais de 25 anos de plantio em larga escala e de consumo pela população mundial, não há qualquer caso de efeito prejudicial das variedades transgênicas para o meio ambiente ou para a saúde humana ou animal. Entretanto, toda e qualquer variedade geneticamente modificada precisa ser analisada pela biossegurança antes de serem liberadas comercialmente.

BIBLIOGRAFIA

- BELÉM, M. A. F. *et al.* Biossegurança de alimentos derivados da biotecnologia rDNA. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento** [on-line], v. 18, n. 12, p. 34-40, 2001.
- BORÉM, A. 2007. **Biotecnologia florestal**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2007.
- BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P. **Biotecnologia e meio ambiente**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2008.
- BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; COSTA, N. M. B. **Alimentos geneticamente modificados**. Viçosa: Folha de Viçosa, 2003.
- BORÉM, A.; PATERNIANI, E.; CASTRO, L. A. B. **Transgênicos: a verdade que você precisa saber**. Brasília: Dupligráfica, 2003.
- BORÉM, A.; ROMANO, E.; SÁ, M. F. G. **Fluxo gênico e transgênicos**. Viçosa: Ed. da UFV, 2007.
- BORÉM, A.; SANTOS, F. R.; PEREIRA, W. **Entendendo a biotecnologia**. Viçosa: Ed. da UFV, 2016.
- BORÉM, A.; VIEIRA, M. L. C.; COLLI, W. **Glossário de biotecnologia**. 2. ed. Viçosa: Suprema, 2009.
- CAO, J. *et al.* Transgenic broccoli with high levels of *Bacillus thuringiensis* Cry1C protein control diamondback moth larvae resistant to Cry1A or Cry1C. **Molecular Breeding** [on-line], v. 5, p. 131-141, 1999.
- CARVALHO, L. P. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de algodoeiro originárias de materiais silvestres. **Rev. Ceres** [on-line], v. 47, p. 303-310, 2000.
- CÉLERES prevê plantio de transgênicos em 52,5 milhões de hectares. **Revista Globo Rural**, [São Paulo], 2016.
- CONNER, A. J.; GLARE, T. R.; MAP, J. P. The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. **Plant Journal** [on-line], v. 33, p. 19-46, 2003.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (BRASIL). Biotec: **Informação Científica sobre Biotecnologia**, ano 2, n. 6, setembro 2004. Disponível em: www.cib.org.br. Acesso em: 15 out. 2019.
- COSTA, N. M. B. Biotecnologia aplicada ao valor nutricional dos alimentos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento** [on-line], n. 32, 2004.
- CROP LIFE BRASIL. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/>. Acesso em: 15 out. 2019.

DIPPLE, K. M.; MCCABE, E. R. Modifier genes convert “simple” Mendelian disorders to complex traits. **Molecular Genetics and Metabolism** [on-line], v. 71, n. 1-2, p. 43-50, 2000.

EUROPEAN UNION. **A decade of EU-funded GMO research**. Disponível em: https://ec.europa.eu/research/biosociety/pdf/a_decade_of_eu-funded_gmo_research.pdf. Acesso em: 15 out. 2019.

GIDDINGS, G. *et al.* Transgenic plants as factories for biopharmaceuticals. **Nature Biotechnology** [on-line], v. 18, n. 11, p. 1.151-1.155, 2000.

GIÚDICE, M.P. *et al.* **Alimentos transgênicos**. Viçosa: Folha de Viçosa, 2000.

Céleres prevê plantio de transgênicos em 52,5 milhões de hectares. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias?Agricultura/noticia/2016/12/celeres-preve-plantio-de-transgenicos-em-525-milhoes-de-hectares.html>. Acesso em: 15 out. 2019.

INSTITUTO AGRESEARCH. Disponível em: <https://www.agresearch.co.nz/>. Acesso em: 15 out. 2019.

JAMES, C. **Global status of commercialized transgenic crops**: 2005. Metro Manila: The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, 2006. Disponível em: <http://www.isaaa.org/publications>. Acesso em: 15 out. 2019.

LEITE, M. **Os alimentos transgênicos**. São Paulo: Publifolha, 2000.

MERCENIER, A.; WIDERMANN, U.; BREITENEDER, H. Edible genetically modified microorganisms and plants for improved health. **Current Opinion in Biotechnology** [on-line], v. 12, n. 5, p. 510-515, 2001.

MESSINA, L. **Biotechnology**. New York: H. W. Wilson, 2000.

PERELMAN, C. **Ética e direito**. São Paulo: Editora Martins Fontes, 1999.

POSSAS, C. A.; NEPOMUCENO, A. L. Bioética nas atividades com plantas geneticamente modificadas: contribuição ao Código de Ética das Manipulações Genéticas. **Parcerias Estratégicas** [on-line], v. 7, n. 16, p. 163-181, 2002.

ROCHA, M. M. Biotecnologia e patentes. In: BOREM, A. *et al.* (Ed.). **Biowork**. Viçosa: Imprensa UFV, 1998.

TABASHNIK, B. E. Evaluation of resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annu. Rev Entomol.** [on-line], v. 39, p. 47-79, 1994.

VARELLA, M. D.; FONTES, E.; ROCHA, F. G. **Biossegurança e biodiversidade**: contexto científico e regulamentar. Belo Horizonte: Del Rey, 1999.