



Contribuição da Embrapa sobre a introdução de eventos de algodoeiros geneticamente modificados para tolerância a herbicidas e para resistência a insetos listados na chamada 02/2007, da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, à luz do conhecimento disponível ao público em 8 de agosto de 2007

Caracterização do problema

A cultura do algodoeiro tem um papel de grande significância para a agricultura brasileira, sendo explorada em diferentes regiões do país por pequenos e grandes agricultores. Os danos causados pelos insetos-pragas são elevados e o controle de pragas constitui-se em um dos principais problemas. A principal praga é o bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*), um coleóptero que induz a abscisão de estruturas reprodutivas ao se alimentar ou ovipositar em botões florais. Esta praga ocorre exclusivamente nas Américas e causa prejuízos particularmente elevados à cotonicultura brasileira. As lagartas de lepidópteros também representam um sério problema fitossanitário, destacando-se a lagarta rosada (*Pectinophora gossypiella*), o curuquerê do algodoeiro (*Alabama argillacea*), a lagarta das maçãs (*Helicoverpa spp.*) e o complexo *Spodoptera*. Outro inseto-praga importante é o pulgão do algodoeiro (*Aphis gossypii*), vetor do Cotton Leaf Roll Dwarf Virus, vírus capaz de causar grandes prejuízos em cultivares susceptíveis à doença azul. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria para Defesa Agrícola (SINDAG), para combater o complexo de pragas que ataca a cultura, 7.620 toneladas de princípios ativos (6,86 Kg/ha) ou 18.259 toneladas de produtos comerciais (16,46 Kg/ha) de inseticidas foram empregados em 2006. O elevado volume de inseticidas usado resulta em impactos ambientais negativos e onera o custo de produção de 9 a 18% (RICHETTI, 2006).

Para que o algodoeiro possa desenvolver seu potencial produtivo, particularmente no início de seu desenvolvimento, o nível de competição com outras espécies vegetais por água, nutrientes e luz deve ser baixo,. Em adição, a presença de plantas daninhas no final do ciclo dificulta a colheita mecânica e aumenta o nível de impurezas na fibra, reduzindo a qualidade e a remuneração do agricultor.

Práticas de controle mecânico são empregadas em alguns sistemas de cultivo. Porém, o sistema de produção predominante utiliza herbicidas em pré-emergência, pós-emergência e jato dirigido. Hoje, o uso de herbicidas é uma realidade na cultura do algodoeiro, sendo uma das lavouras que mais intensamente utiliza o insumo.

As variedades de algodoeiro transgênico tolerantes a herbicidas e a insetos-pragas constituem ferramenta potente para o manejo da cultura. Elas podem ser inseridas nos diferentes sistemas de produção, reduzindo os prejuízos ocasionados pelas pragas da ordem Lepidoptera (lagartas) e pelas plantas daninhas. Como tem acontecido em outras partes do mundo e com outras espécies vegetais, a inserção de cultivares transgênicos de algodoeiro tolerantes a herbicidas ou resistentes a insetos na agricultura brasileira pode trazer benefícios econômicos e ambientais. Isso ocorre devido à redução de perdas, de custos com manejo e da quantidade de inseticidas utilizados nas lavouras. É necessário alertar, no entanto, que as variedades resistentes a insetos em discussão nesta audiência pública serão ferramentas importantes para o controle de lagartas, mas não terão efeito sobre outras sérias pragas do algodoeiro no Brasil, tais como o bicudo e o pulgão. Ainda assim os benefícios poderão ser significativos, se o manejo correto da tecnologia for devidamente aplicado pelos agricultores.

Principais questões levantadas para a introdução de novos eventos de algodoeiro transgênico no Brasil, com referência especial aos processos que serão avaliados na audiência pública do dia 17 de agosto de 2007.

1. Segurança alimentar – Embora o principal produto do algodoeiro seja a fibra destinada à confecção de têxteis, o óleo extraído das sementes é usado na alimentação humana e a torta e os caroços integrais são empregados na alimentação animal. Portanto, a análise de risco de algodoeiros geneticamente modificados deve, necessariamente, considerar a segurança alimentar.

Os experimentos que avaliam a segurança alimentar precisam ser realizados em laboratórios certificados com boas práticas laboratoriais, seguindo protocolos aprovados internacionalmente. Esses protocolos, amplamente conhecidos, são aplicados de acordo com o evento a ser analisado, podendo ser utilizados para

compor os dossiês de análise de risco em diferentes países. O importante é que a qualidade dos experimentos esteja cientificamente validada.

Na avaliação de segurança alimentar, o alimento geneticamente modificado é comparado com seu análogo convencional (com histórico de uso seguro), identificando-se similaridades e diferenças. Os resultados dessa comparação, subsequentemente, direcionam o processo de avaliação, que segue um procedimento passo a passo e uma série de questões estruturais. É mais apropriado se comparar matérias-primas não processadas; entretanto, se o alimento só for consumido depois de processado, como no caso do óleo refinado de algodoeiro para consumo humano, a comparação pode ser realizada entre o alimento derivado de OGM e o alimento convencional processados da mesma maneira. As análises para a determinação da composição do alimento geneticamente modificado e seus derivados devem focar o conteúdo de nutrientes-chave (macro e micronutrientes), de componentes tóxicos-chaves e de fatores antinutricionais-chaves.

Além dos estudos de segurança alimentar, se o novo gene inserido expressar uma proteína, esta deve ser submetida a testes de alergenicidade e a testes toxicológicos (toxicidade oral aguda e estudos em animais).

O processo de avaliação de segurança alimentar de alimentos geneticamente modificados foi sumarizado pelo Codex Alimentarius no documento CAC/GL 45-2003.

De acordo com informações cientificamente qualificadas, não foi observado qualquer efeito deletério à saúde humana, para os eventos de algodoeiros geneticamente modificados já aprovados para consumo, em diferentes países que permitem sua comercialização (OFFICE OF THE GENE TECHNOLOGY REGULATOR, 2007 EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2007; FOOD STANDARDS AUSTRALIAN NEW ZEALAND 2007; HEALTH CANADA, 2007; SIEGEL, 2001; BETZ et al., 2000).

2. Segurança ambiental – Uma avaliação de risco ambiental cientificamente fundamentada é crucial para a tomada de decisão sobre a aprovação para o comércio de novas variedades de plantas transgênicas. Existe uma ampla aceitação

de que a avaliação de risco ambiental seja fundamentada em alguns princípios básicos, incluindo o tratamento caso a caso e a consideração cientificamente fundamentada de todas as informações disponíveis sobre a planta que foi objeto de modificação genética, sobre o gene inserido e o ambiente no qual a planta geneticamente modificada será liberada. Estes princípios estão inseridos na legislação brasileira e no Protocolo de Cartagena de Biossegurança, como também são ressaltados em documentos da União Europeia e da Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento. Com base nestes princípios, uma avaliação de risco ambiental apropriada é conduzida a partir de informações científicas pertinentes geradas no país onde a planta geneticamente modificada entrará em contacto com o meio ambiente.

Uma série de itens básicos são solicitados pelas instruções normativas da CTNBio e não serão aqui delineados. A Embrapa considera que as avaliações para as condições ambientais brasileiras devem ser apresentadas antes da liberação comercial desses eventos. Alguns pontos mais relevantes da avaliação de risco ambiental pré-liberação comercial de variedades de algodoeiro transgênicas são comentados a seguir.

2.1. Fluxo gênico – Quatro tipos de algodoeiro ocorrem no país, todos sexualmente compatíveis e com sistema de reprodução misto - em que parte das sementes são formadas por autofecundação e parte por fecundação cruzada. Há, portanto, possibilidade de fluxo gênico ocorrer (i) entre cultivares e algodoeiros nativos ou naturalizados e (ii) entre cultivares. Medidas que limitam a contaminação genética a valores que permitem a manutenção da identidade genética de genótipos cultivados em longo prazo são estabelecidas por normas legais. O uso de sementes produzidas, por produtores de sementes ou cotonicultores, empregando os procedimentos de isolamento preconizados é uma garantia da qualidade genética do material propagativo.

Além dos cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* var. *latifolium*), ocorrem no país *Gossypium barbadense*, *G. hirsutum* var. *marie galante* (algodoeiro mocó) e *G. mustelinum*. *G. barbadense* apresenta ampla distribuição no

país e sua conservação *in situ* está diretamente ligada à manutenção das tradições de uso como planta medicinal. Variedades locais de *G. barbadense* estão presentes em comunidades indígenas, estando devidamente protegidas por legislação específica. *G. hirsutum* r. *marie galante*, conhecido como algodoeiro mocó ou arbóreo, foi muito cultivado no semi-árido do Nordeste até a década de 80, quando diversos problemas causaram abrupta interrupção no cultivo (BELTRÃO, 1999). Populações de elevada importância como recurso genético são encontradas no alto de serras em alguns municípios do Seridó Paraibano e Potiguar. Elas derivam de lavouras abandonadas de algodoeiro mocó e sua existência está comprometida devido à pecuária extensiva e a competição com a vegetação nativa. *Gossypium mustelinum* é a única espécie nativa, ocorrendo de modo endêmico no semi-árido nordestino. A pequena quantidade de populações conhecidas e o elevado impacto negativo da pecuária extensiva nas populações exigem cuidados especiais para a preservação das populações naturais desta espécie. O fluxo gênico não é um problema atual para a manutenção *in situ* de nenhuma espécie nativa ou naturalizada do país. Apesar disso, o isolamento entre algodoeiros transgênicos e as populações de algodoeiro de maior diversidade foi garantido pela implementação de zonas de exclusão de algodoeiros geneticamente modificados. As características botânicas e reprodutivas do gênero *Gossypium* permitem aferir que este tipo de isolamento será suficiente para preservar as características genéticas originais dos algodoeiros nativos e naturalizados. Tais zonas de isolamento ou exclusão foram estabelecidas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento a partir de proposta formulada pela Embrapa (BARROSO et al., 2004) e sua abrangência deve ser ajustada sempre que fatos novos o justificarem.

2.2 Impacto sobre a biodiversidade e organismos não-alvos – O bom funcionamento do sistema agrícola depende de serviços ambientais que são prestados por um grande número de espécies de plantas, animais e microorganismos. Comunidades destes organismos exercem funções ecológicas tais como decomposição, polinização e controle biológico, entre outras. Uma avaliação de risco apropriada deve considerar potenciais efeitos indesejáveis às espécies que exercem estas funções, por exemplo os polinizadores, predadores,

parasitóides e microorganismos fixadores de nitrogênio. Alguns estudos foram conduzidos no Brasil para o algodão Bt variedade Bollgard, que expressa a proteína Cry1Ac (OLIVEIRA et al. 2007, SUJII et al. 2006; RAMIRO e FARIA, 2006, entre outros) e os resultados não demonstraram efeitos adversos significativos aos organismos não-alvo estudados. Estes resultados, no entanto, não podem ser imediatamente extrapolados para as variedades de algodão Bt que estão em discussão nesta audiência pública, uma vez que a avaliação de risco deve ser caso a caso. Porém podem constituir uma boa base de comparação. Estudos sobre o impacto do uso de variedades tolerantes a herbicidas sobre a biodiversidade e espécies não-alvo devem ser igualmente desenvolvidos nas regiões onde a tecnologia será aplicada.

2.3. Seleção de resistência ou quebra da eficiência – esse conceito está vinculado ao uso intensivo de uma única tecnologia sem uma boa prática de manejo da resistência. A resistência, tanto de plantas daninhas aos herbicidas como de insetos-pragas às toxinas do *Bt*, é resultado da seleção de espécies ou biótipos resistentes.

2.3.1. Resistência das plantas daninhas aos herbicidas - os herbicidas podem ser classificados segundo seu mecanismo de ação (hormonais, inibidores da fotossíntese, inibidores da divisão celular ou inibidores de enzimas diversas), pelas características das plantas que controlam (folha larga ou estreita), pela época de sua aplicação (pré-plantio, pré-emergente ou pós-emergente) e pela sua seletividade. Mais recentemente, tornou-se exigência que se inclua a análise do mecanismo de ação dos herbicidas antes da sua recomendação para uso nas lavouras. Repetidas aplicações ou o uso intensivo de um mesmo produto ou de produtos diferentes com um mesmo mecanismo de ação, tanto em cultivos do algodoeiro convencional como do geneticamente modificado, provavelmente, selecionarão tipos resistentes. O manejo apropriado permite diminuir esses efeitos. O processo da seleção pode ser mitigado fazendo-se a rotação de cultivos e de herbicidas, monitorando a dinâmica das populações das plantas invasoras, acompanhando os resultados das aplicações dos herbicidas, utilizando, quando

permitido, misturas de herbicidas com mecanismos diversos de controle e fazendo o manejo integrado das plantas invasoras.

2.3.2. Resistência de insetos-pragas – as proteínas do *Bt*, pelas características dos promotores gênicos dos eventos que estão sendo submetidos para avaliação nesse processo são expressas continuamente nas plantas transgênicas, aumentando a exposição dos insetos-pragas à proteína com propriedades inseticidas. Isso pode favorecer a seleção de populações de insetos resistentes, comprometendo essa nova tática de controle de pragas e reduzindo a vida útil das proteínas *Bt* (OMOTO et al, 2004). A presença de variabilidade genética conferindo resistência a algumas proteínas *Bt* tem sido demonstrada em várias espécies de insetos, em trabalhos de seleção com pulverizações de *Bt*, em condições de laboratório e de campo. Portanto, o processo determinante no desenvolvimento da resistência é a pressão de seleção, ou seja, o uso freqüente de um mesmo agente de controle em espécies com reduzido número de hospedeiros.

Como parte da introdução comercial de plantas transgênicas resistentes a insetos, é necessário o desenvolvimento de estratégias apropriadas para prevenir ou retardar o desenvolvimento da resistência na praga-alvo. Entre as várias estratégias mitigadoras, destacam-se a expressão da toxina em alta dose, a utilização de áreas de refúgio para os insetos suscetíveis e o monitoramento da resistência (GOULD, 1998). As mudanças nas freqüências de resistência de pragas às proteínas *Bt* devem ser acompanhadas por meio de estudos em laboratório. Assim, com o trabalho de monitoramento da suscetibilidade de pragas, é possível avaliar se o programa implementado está sendo efetivo ou não. Entretanto, para que os dados do monitoramento possam ser comparados com os da população original da espécie-alvo, é fundamental que a linha básica de susceptibilidade seja previamente estabelecida.

3. Coexistência – Contaminações da fibra e de caroços de algodão podem ocorrer devido a mistura mecânica inadequada durante as operações de plantio, colheita, transporte do algodão, beneficiamento e armazenamento dos caroços após sua separação da fibra. Dessa forma, fibra, sementes e caroços de algodão transgênico

podem, inadvertidamente, ser misturados a algodões convencionais ou orgânicos, afetando o negócio de agricultores interessados em atender mercados específicos, ou os consumidores desejosos de evitar alimentos ou produtos transgênicos.

Outra possibilidade de contaminação é o fluxo gênico via pólen. O algodoeiro é uma planta que se reproduz por autofecundações e por fecundação cruzada, podendo haver fluxo gênico entre as diferentes cultivares. Ao contrário de culturas em que o grão é o principal produto, a fecundação de lavouras convencionais por pólen proveniente de plantas transgênicas não causa a contaminação da fibra de algodão. Tal fato se deve à fibra ser produzida nas células do tegumento das sementes, que são células maternas. A contaminação da fibra ocorrerá apenas na segunda geração, após a germinação da semente transgênica. Porém, ocorrerá a contaminação do grão, visto que o embrião e os tecidos de reserva conterão o transgene.

Nos países onde o algodoeiro transgênico já é plantado ou naqueles onde o assunto vem sendo amplamente discutido, a questão de atendimento ao direito de escolha do agricultor tem sido abordada por meio de buscas de mecanismos para uma co-existência pacífica entre as diferentes formas de agricultura (transgênica, convencional, orgânica e agroecológica). Essa co-existência é possível, desde que sejam utilizadas sementes sem contaminações e estratégias de isolamento que garantam níveis de contaminação abaixo de limites toleráveis. É importante também adotar boas práticas agrícolas como a limpeza de máquinas e equipamentos após o uso (FONTES, 2007). A implantação de tais mecanismos permitirá que os diferentes tipos de sistemas de cultivo da cultura do algodão possam continuar existindo e preservando suas características particulares.

4. Impactos socioeconômicos - a análise econômica da adoção do algodoeiro geneticamente modificado deve levar em conta cinco fatores principais: a produtividade dos genótipos a serem utilizados, o custo das sementes, a taxa a ser cobrada pelo uso da tecnologia, o preço de venda da fibra e dos caroços e os custos de controle dos insetos-pragas e plantas daninhas nos sistemas convencional e transgênico.

Com relação ao potencial de produtividade, não se espera diferenças entre os genótipos convencionais e transgênicos, pois esses genes são apenas defensivos. Nesse aspecto, é importante considerar a adaptação desses genótipos, convencionais ou transgênicos, à região onde serão utilizados e ao sistema de produção a ser adotado pelo produtor.

O preço da semente dos genótipos transgênicos deverá ser superior aos convencionais, como aconteceu inicialmente no caso da soja transgênica. Essa situação poderá ser normalizada com maior diversidade de empresas ofertando genótipos de algodão geneticamente modificados. Assim, recomenda-se a utilização de estratégias que permitam o acesso a esses genes por instituições brasileiras e que atuam no Brasil no desenvolvimento de cultivares de algodoeiro, de forma a incorporá-los em um número significativo de cultivares, evitando-se a formação de oligopólios.

Conclusões

- Os algodoeiros transgênicos avaliados nessa audiência constituem-se em novas opções que podem aumentar a sustentabilidade e competitividade da cotonicultura do Brasil.
- Os resultados observados nos países onde esses algodoeiros transgênicos foram aprovados para o cultivo comercial indicam que eles são seguros para consumo humano e animal.
- Embora resultados obtidos em países onde esses algodoeiros são cultivados indiquem que eles não apresentam impactos ambientais significativos, a análise de risco ambiental deverá ser realizada levando-se em conta as condições brasileiras.
- Após a liberação comercial dos eventos de algodão geneticamente modificados e à luz da experiência adquirida com a adoção da tecnologia, é importante a elaboração de orientações técnicas que permitam a coexistência dos diferentes sistemas de cultivo do algodoeiro (convencional, orgânico, transgênico), garantindo ao agricultor a possibilidade de escolha entre os sistemas de cultivo.

4. Literatura Citada

BARROSO, P.A.V.; FREIRE, E.C.; AMARAL, J.A.B. do; SILVA, M.T. Zonas de exclusão de algodoeiros transgênicos para a preservação de espécies de *Gossypium* nativas ou naturalizadas. Campina Grande> Embrapa Algodão, 2005. 7p. (Embrapa Algodão, Comunicado Técnico, 242).

BELTRÃO, N.E. de M. O agronegócio do algodão no Brasil. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1999. v1. 491p.

BETZ, F.S.; HAMMOND, B.G.; FUCHS, R. Safety and advantages of *Bacillus thuringiensis* protected plants to control insect pests. **Regul. Toxicol. Pharmacol.** v.32, p. 156-173, 2000.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Community register of genetically modified food and feed. Disponível em: http://ec.europa.eu/food/dyna/gm_register/index_en.cfm. Acesso em 08 ago 2007.

FONTES, E.M.G. 2007. A health mix: strategies for GM and non-GM crop coexistence. Science and Development Network. 17 April. 2007. Disponível em: <http://www.scidev.net/dossiers/index.cfm?fusection=policybrief&dossier=6&policy=137> Acesso em ago 2007

FOOD STANDARDS AUSTRALIAN NEW ZEALAND. Applications and current status. Disponível em: <http://foodstandards.gov.au/foodmatters/gmfoods/gmcurrentapplication1030.cfm> Acesso em ago 2007.

GOULD, F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integration of pest genetic and ecology. **Annu. Rev. Entomol.**, v.43, p. 701-726, 1998.

HEALTH CANADA. Approved products. Disponível em: http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/gmf-agm/appro/index_e.html Acesso em ago 2007.

MARÇON, P. C. R. G.; YONG, L. J.; STEFFELY, K. L. E. SIEGRFRIED, B. D. Baseline susceptibility of European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) to *Bacillus thuringiensis* toxins. **J. Econ. Entomol.** v. 92, n.2, p. 279-285, 1999.

OFFICE OF THE GENE TECHNOLOGY REGULATOR. Approved commercial releases of GM crops (Subset of the GMO Record). Disponível em: <http://www.ogtr.gov.au/gmorec/apcomcrops.htm>. Acesso em 08 ago. 2007.

OLIVEIRA, A.R.; CASTRO, T.R.; CAPALBO, D.M.F.; DELALIBERA JÚNIOR, I. Toxicological evaluation of genetically modified cotton (Bollgard) and Dipel WP on the non-target soil mite *Scheloribates praeincisus* (Acari: Oribatida). **Experimental & Applied Acarology**, v. 41, p.190-201, 2007.

OMOTO, C.; FITT, G.; CAPRIO, M.; DENNEHY, T.; MAIA, A. H; WAQUIL, J. M.; RAMIRO, A. A.; ANDOW, D. Manejo da resistência de pragas a plantas geneticamente modificadas. in **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA**, 20., 2004, Gramado. Programa e resumos...Gramado: Sociedade Entomológica do Brasil, 2004 p. 146.

RAMIRO, Z.A.; FARIA, A.M. Levantamento de insetos predadores nos cultivares de algodão bollgard DP90 e convencional Delta Pine Acala 90. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.73, p.119-121, 2006.

RICHETTI, A. Estimativa de custo de produção de algodão, safra 2006/07, para o Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Comunicado Técnico 125. CPAO, 2006. 16p.

SIEGEL, J.P.. The mammalian safety of *Bacillus thuringiensis*-based insecticides. **J. invertebr. Pathol.** v. 77, p.13-21, 2001.

SUJII. E. TOGNI, P.H.B.; NAKASU; E.Y.T.; RIBEIRO, P.H.; BESERRA, V.A.; MACETO, T.R. PIRES, C.S.S.; FONTES, E.M.G. Metodologia para avaliação do efeito da inserção de transgenes em plantas na bionomia de insetos herbívoros não-alvo: efeito de algodão Bt em *Aphis gossypii*. Brasília: Embrapa Cenargen, 2006. 18p. (Embrapa Cenargen. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 143)

WU, J.. Mycotoxin reduction in Bt corn: potential economic, health and regulatory impacts. **Transgenic Res.** v. 15, n.3, p.277-289, 2006.