

Aplicação da técnica de Análise Preliminar de Riscos a estudos de produtos vegetais transgênicos*

Tarcilo David Lôbo Galvão**
Reginaldo Vello Loureiro***
Regis Rodrigues Loureiro****

O primeiro trabalho científico utilizando os procedimentos de biotecnologia foi realizado pelos cientistas Stanley Cohen e Herbert Boyer, em 1973. Eles conseguiram transferir genes de um organismo para outro, marcando, então, o “início da Biotecnologia” (MONSANTO, 1999).

MONSANTO (1999) diz que a Engenharia Genética, na qual se apóia a Biotecnologia, só se tornou possível a partir da mais espetacular descoberta da biologia molecular: a estrutura da molécula do DNA, em 1953, desenvolvida na Universidade de Cambridge, pelos cientistas James Watson e Francis Crick.

No Brasil, no ano de 1993, a EMBRAPA, através do Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos (CENARGEN),

anunciou o plantio, em sua Fazenda Experimental, em Brasília, de 300 sementes de feijão que receberam o gene 2S da castanha-do-pará, responsável pela síntese da metionina, um aminoácido essencial para o ser humano, por não conseguir sintetizá-lo (Ciência Hoje, 1995). Esse Projeto foi iniciado dez anos antes, quando seus pesquisadores conseguiram clonar o gene da castanha-do-pará e isso só foi possível com o uso da técnica de aceleração de partículas (Ciência Hoje, 1995). Devido a certas pessoas serem alérgicas à castanha-do-pará, e a possibilidade deste problema também ocorrer com consumidores do feijão modificado através do gene 2S, a pesquisa foi interrompida e esse produto transgênico não chegou a ser divulgado (Paterniani, 2001; Teacenco, 2001).

A EMBRAPA-CENARGEN

elaborou várias pesquisas básicas, obtendo alguns resultados concernentes ao cultivo de tomate. Deste, foi modificada geneticamente a sua parede celular, possibilitando a produção de frutos menos perecíveis, o que facilita os produtores nos aspectos de embalagem, transporte e comercialização. O mencionado órgão tem ainda direcionado suas pesquisas para a produção de plantas transgênicas de soja, milho e canola, utilizando-se dos usuais testes de resistência a herbicidas - TRH (EMBRAPA- CENARGEN, 1997). Esse procedimento mostra ser a mais lucrativa das aplicações da Engenharia Genética na agricultura, o que coloca esses testes de campo, com plantas geneticamente modificadas, em primeiro lugar no mundo. Outros exemplos de pesquisas são as desenvolvidas

* Trabalho apresentado pelo primeiro autor no XI CONASEMT - Congresso Nacional de Segurança e Medicina do Trabalho, realizado no Centro de Convenções Imigrantes, no período de 28 a 30 de agosto de 2002, em São Paulo (SP).

**Eng^o Agrônomo - Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S/A (EBDA) - Mestrando em Engenharia Ambiental / Gestão Ambiental / UFES; e-mail: tarcilodavid@uol.com.br; tarcilo@upd.ufes.br

***Doutor em Saúde Pública - Programa de Pós-Graduação “*Stricto Sensu*” de Engenharia Ambiental da UFES; e-mail: revelho@upd.ufes.br; revelho@uol.com.br

****Eng^o Mecânico - ênfase Petróleo e Gás - Mestrando em Engenharia Mecânica (linha de pesquisa de Análise de Riscos) / UFES Técnico de Segurança do Trabalho; e-mail: reloureiro@upd.ufes.br

- Os autores agradecem aos Engenheiros Fábio Cordeiro da Cruz, Luiz Carlos Salles Rodrigues e Mariângela Dutra Oliveira e ao Geólogo Jorge Costa de Moura por toda colaboração prestada ao desenvolvimento deste trabalho.

com algodão e milho, com aplicação do bacilo turigienses, buscando-se obter resistência ao ataque de lagartas, principalmente no caso do algodão, onde se procura, também, a obtenção de variedades com fibras de novas cores (EMBRAPA-CENARGEN, 1997).

Por ser considerado de grande interesse para a comunidade científica nacional e internacional, o conhecimento não somente dos riscos envolvidos na utilização de alimentos originários de cultura transgênica, mas, também, das técnicas

de análise de riscos que podem identificar os seus possíveis danos ao meio ambiente e à saúde pública, este artigo visa divulgar uma técnica que poderá ser utilizada em estudos e pesquisas sobre a temática transgênicos e seus riscos.

Metodologia

Foi realizada uma pesquisa na literatura especializada sobre produtos vegetais transgênicos (Kleba, 1998; Paterniani, 2001; Soares, 2000; Teacenco, 1999.)

e aplicada a Técnica de Análise Preliminar de Riscos - APR (Loureiro, 1998) à cultura da soja transgênica.

Resultados

Para exemplificar o procedimento da análise de riscos, apresenta-se a Técnica da Análise Preliminar de Riscos - APR, aplicada para a soja transgênica (Quadro 1).

Quadro 1 Técnica da APR aplicada para a soja transgênica

RISCO 1: Uso excessivo de herbicidas

- **Causa:** Equipamentos de aplicação inadequados; tecnologia ultrapassada; interesses econômicos do fabricante de herbicidas.
- **Impacto ambiental:** Contaminação do meio ambiente, dos aplicadores e da comunidade vizinha.
- ***Categoria de risco:** (3) Crítica.
- **Medidas preventivas e corretivas:** Modernização dos equipamentos de aplicação; capacitação de agricultores e aplicadores de agrotóxicos (treinamento/orientação sobre riscos); legislação específica contra monopólios; e, fornecimento e utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's).

RISCO 2: Diminuição da biodiversidade (espécies vegetais)

- **Causa:** Largo espectro de ação do herbicida glifosato.
- **Impacto ambiental:** Extinção de espécies importantes, inclusive medicinais, no ecossistema onde está inserido.
- ***Categoria de risco:** (2) Marginal ou Limitrofe.
- **Medidas preventivas/corretivas:** Isolamento de áreas de plantio; e monitoramento de espécies existentes.

RISCO 3: Transferência da mutação genética para outras variedades não transgênicas, pela polinização

- **Causa:** Ocorrência eventual de fecundação cruzada (a soja é autofecundada). Pólen transportado por insetos ou pelo vento, a grandes distâncias.
- **Impacto ambiental:** Surgimento de variedades de soja resistentes ao herbicida, afetando o equilíbrio do ecossistema.
- ***Categoria de risco:** (2) Marginal ou Limitrofe.
- **Medidas preventivas/corretivas:** Isolamento das áreas de plantio; monitoramento das espécies existentes; e pesquisa científica específica para avaliação desse risco.

continuação

RISCO 4: Redução/eliminação de espécies benéficas (insetos e predadores)

- **Causa:** Quebra na seqüência da cadeia alimentar.
- **Impacto ambiental:** Diminuição da biodiversidade.
- ***Categoria de risco:** (2) Marginal ou Limítrofe.
- **Medidas preventivas/corretivas:** isolamento das áreas de plantio; monitoramento das espécies de insetos existentes; e pesquisa científica específica para avaliação desse risco.

RISCO 5: Efeito alergênico em pessoas e animais

- **Causa:** Alteração na composição bioquímica da soja (gordura, carboidratos, atividade inibidora da tripsina).
- **Impacto ambiental:** Problemas de saúde pública (elevada incidência de casos de alergia na população).
- ***Categoria de risco:** (3) Crítica.
- **Medidas preventivas/corretivas:** Dar uma maior transparência na divulgação das alterações orgânicas que a soja transgênica pode provocar nas pessoas (alergias e outras); dar informações acerca dos riscos e das medidas preventivas necessárias para evitar tais problemas.

RISCO 6: Aumento da produção de fitoestrogênio pela soja (substância vegetal que mimetiza a função dos hormônios no corpo dos mamíferos)

- **Causa:** Aplicação de produtos com princípio ativo glifosato.
- **Impacto ambiental:** Disrupções no sistema reprodutivo de mamíferos.
- ***Categoria de risco:** (3) Crítica
- **Medidas preventivas/corretivas:** Pesquisa científica específica, realizada em mamíferos, para avaliação de risco de disfunção no sistema reprodutivo.

RISCO 7: Contaminação de solo, água e ar por ingredientes inativos contidos em produtos que contenham em sua composição surfactante POEA e o contaminante 1,4 dioxane e similares

- **Causa:** Uso inadequado de herbicida por despreparo técnico do agricultor e/ou do aplicador; e nocividade do produto ao meio ambiente.
- **Impacto ambiental:** Efeito cancerígeno em mamíferos.
- ***Categoria de risco:** (3) Crítica.
- **Medidas preventivas/corretivas:** Capacitação dos agricultores e aplicadores do produto; e divulgação da composição dos produtos, para adoção de medidas preventivas adequadas.

Fonte: Loureiro, 1998

*CATEGORIA DE RISCOS AMBIENTAIS: Versão da engenharia de segurança do trabalho - (1) **Desprezível** - A falha não irá resultar em uma degradação maior do Sistema, nem irá produzir danos funcionais ou lesões, ou contribuir com um risco ao Sistema; (2) **Marginal ou Limítrofe** - A falha irá degradar o Sistema, em uma certa extensão, porém sem envolver danos maiores ou lesões, podendo ser compensada ou controlada adequadamente; (3) **Crítica** - A falha irá degradar o Sistema, causando lesões, danos substanciais ou irá resultar em um risco inaceitável, necessitando de ações corretivas imediatas; (4) **Catastrófica** - A falha irá produzir severa degradação do Sistema, resultando em sua perda total, lesões ou mortes.

Versão ambiental - (1) **Desprezível** - O risco não irá resultar em um *impacto ambiental*; (2) **Marginal ou Limítrofe** - O risco poderá resultar em *impacto ambiental*, com danos de certa extensão, podendo ser compensado ou controlado adequadamente; (3) **Crítica** - O risco poderá resultar em *impacto ambiental* com danos substanciais, ou ser inaceitável, necessitando de ações corretivas imediatas; (4) **Catastrófica** - O risco poderá resultar em *impacto ambiental* com severos danos, incluindo fatalidades.

Discussão

As plantas transgênicas são obtidas por técnicas de biologia molecular, através da incorporação em seu genoma de genes de outras plantas que não se cruzam sexualmente com elas ou mesmo de organismos geneticamente diferentes, tais como vírus ou bactérias.

Para fazer essa transferência de genes, o primeiro passo é a detecção, coleta e isolamento dos mesmos (Teacenco, 1999). A caracterização do gene de interesse é feita a partir da cadeia de DNA do organismo doador, como por exemplo, o gene que aumenta a resistência a herbicidas. Para isso, utiliza-se a técnica de tesouras enzimáticas (endonuclease de restrição). Daí faz-se a transferência do gene isolado para o DNA do organismo receptor, usando como cola as ligases do DNA. A seguir é feita a introdução desse gene em vetores que estimulam uma transformação genética. O mecanismo mais utilizado para esse fim é a aceleração de partículas de metal contendo o DNA, com o gene que será transferido, ou a técnica da *Agrobacterium* (uso da bactéria *Agrobacterium tumefaciens*).

A primeira técnica utilizada a partir do início da década de 80 foi a da *Agrobacterium tumefaciens* (Figura 1). Essa bactéria causa, sob condições naturais, tumores em plantas, o que permite inserir nelas fragmentos de seu próprio DNA, com vistas a produzir proteínas para sua alimentação. Para algumas plantas, a exemplo da soja, não se permite este tipo de modificação utilizando-se essa técnica.

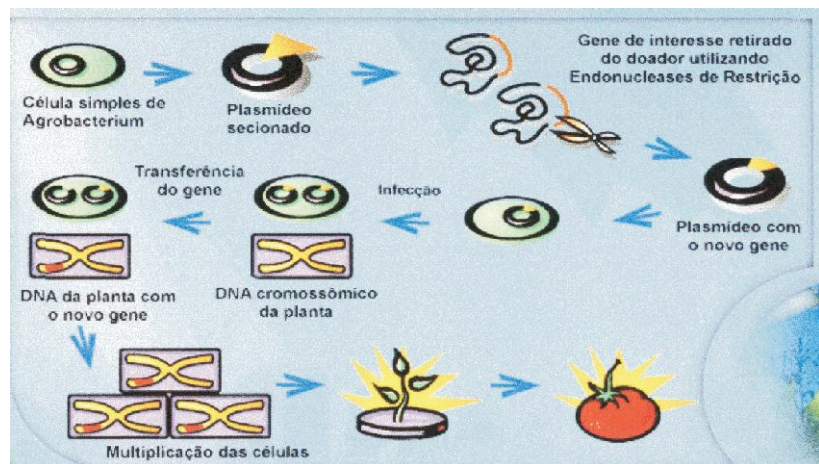
Neste caso coloca-se o DNA na superfície de micropartículas, geralmente ouro ou tungstênio, e através de uma espécie de canhão (gene gun) são inseridas, em alta velocidade, no genoma da célula. O bombardeamento de microprojéteis (Figura 2) é uma das técnicas mais utilizadas na produção de plantas transgênicas, no presente (Kleba, 1998; MONSANTO, 1998).

Os organismos receptores armazenam a informação no seu

gene, e fazem uma nova proteína, adquirindo, assim, uma outra propriedade. Regeneram-se plantas a partir do órgão ou da célula transformada. Faz-se seleção das melhores plantas contendo o transgene, com testes de fidelidade e estabilidade genética (Teacenco, 1999).

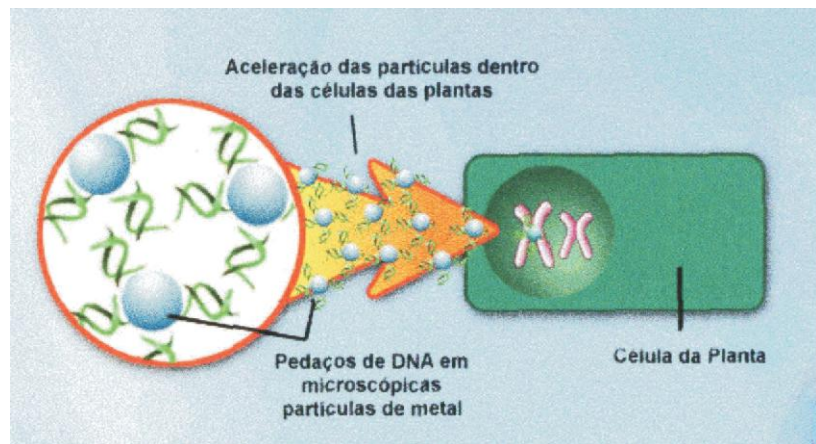
Existem vários aspectos positivos e negativos a serem analisados, quando se trata da utilização de alimentos transgênicos, e torna-se de fundamental importância que as

Figura 1 - Técnica da *Agrobacterium tumefaciens*



Fonte: MONSANTO, 1999.

Figura 2 - Técnica do "Bombardeamento de Micropartículas"



Fonte: MONSANTO, 1999.

As pessoas precisam e se informem, antes de se posicionarem, contra ou a favor, de seu uso/adoção. Sem dúvida, o grande temor a respeito dos transgênicos é de que cada célula de um organismo geneticamente modificado tem uma carga de DNA e essa carga possui gene originário de outra espécie.

Segundo Soares (2000), o possível insucesso dessas culturas, em nosso país, deve-se principalmente a seus possíveis riscos que são divulgados pelos meios de comunicação. Um deles seria o de exaurimento ou transferência da biodiversidade de um país para outro. Outro seria a mutação genética que poderia ocorrer em plantios não transgênicos, devido à polinização, motivo pelo qual essas culturas devem ser isoladas das comuns, por meio de valas, com pelo menos vinte metros de largura. Um terceiro risco seria o da contaminação do solo e o quarto a formação de sementes estéreis, que prejudicariam uma prática milenar dos agricultores de selecionar, de uma safra para outra, as melhores sementes para o replantio.

Para Teacenco (1999), quando é feito um pedido de regulamentação de produto transgênico à CTN-Bio, surgem um rol de questões a serem dirimidas, tais como: quais genes serão introduzidos e quais são as suas funções específicas; quais as evidências de que a nova característica possa ser transferida sem problemas para outros organismos que ocupam o local da liberação planejada e para o ambiente a seu redor; quais são os efeitos perigosos potenciais e como poderão ser avaliados durante a fase de liberação; quais são os efeitos

esperados que ocorram nas espécies nativas em extinção, na resistência de populações de insetos a um inseticida, na redução ou no aumento no número de predadores ou parasitas; quais os efeitos pleiotrópicos que poderão advir da introdução do transgene no organismo modificado, tais como, por exemplo, fertilidade reduzida, aumento da incidência de doenças e perda da produtividade; quais metabólitos podem causar efeitos adversos ao consumidor humano e animal (necessitando de informações a respeito da toxicidade, reações alérgicas e outros efeitos danosos); e quais são as possibilidades do organismo geneticamente modificado concentrar-se na cadeia alimentar e tornar-se tóxico.

A possibilidade de causar alergia pela incorporação de transgene em cultura de alto consumo é verdadeira. Teacenco (1999), porém, alega que esse problema pode ser contornado com a adoção de cuidados especiais com o tipo de manipulação genética e fazendo-se a rotulagem do produto, o que evitaria o consumo inadvertido. O autor justifica esse problema alegando que muitas pessoas também são sensíveis a produtos lácteos e a algumas proteínas provenientes de peixes e crustáceos.

Pesquisadores, aqueles entusiasmados com a Biotecnologia, dizem que cada novo transgênico representa uma nova variedade disponível, o que significa aumento da biodiversidade, considerando que essa espécie será acrescida às já existentes, defendendo também que a biodiversidade existente será preservada. Explicam que as

novas variedades, quando aprovadas, estarão disponíveis para o agricultor, da mesma forma que as variedades obtidas pelos meios convencionais, isto é, não serão as únicas existentes (Paterniani, 2001). Sempre existirão as variedades convencionais, as quais, como atualmente, convivem com a grande diversidade disponível no mercado. Ainda, argumentam que as variedades transgênicas liberadas, resistentes a herbicidas e a insetos, são benéficas ao meio ambiente, pois reduzem o uso de agroquímicos, apontando para estatísticas dos países onde essas plantas estão sendo cultivadas (Paterniani, 2001). Como exemplo, citam o milho Bt, ao qual foi incorporado um gene da bactéria *Bacillus thuringiensis*, passando a produzir uma toxina nas folhas que mata as lagartas, dispensando, ou diminuindo o emprego de inseticidas (Paterniani, 2001).

No caso das plantas resistentes a herbicidas existe um fator positivo com relação ao meio ambiente, porque, geralmente, são cultivadas no sistema de plantio direto, no qual o solo não é revolvido, evitando a erosão (este é o mais grave problema de conservação do solo em regiões tropicais) (Paterniani, 2001).

A liberação, em larga escala, de plantas geneticamente modificadas, sugere impactos e riscos para o meio ambiente e para os seres humanos, inclusive. Torna-se de fundamental importância a realização de estudos, caso a caso, incluindo-se a análise e avaliação dos riscos ambientais e dos consequentes impactos ao meio ambiente. Destacamos a importância de que seja efetuado

um estudo, separadamente, de cada organismo geneticamente modificado, pois o potencial de ocorrências indesejadas varia de acordo com a função ecológica que esses organismos irão desempenhar, e com o sistema de cultivo aos quais serão submetidos. Pode-se, desta forma, identificar e caracterizar estes riscos e definir as medidas preventivas e corretivas a serem adotadas para a sua minimização, eliminação e/ou controle, através de técnicas existentes de análise e avaliação de riscos, ou mesmo desenvolver uma técnica específica para análise da situação de risco gerada pelas plantas transgênicas, em particular.

Muito importante, também, é o repasse de informações ao consumidor no que diz respeito às pesquisas até então desenvolvidas, para permitir a comercialização segura de produtos transgênicos. A informação correta, muito mais do que apenas divulgar a fórmula do produto, significa proteção do consumidor, dando-lhe o direito à opção de consumir produtos não transgênicos ou transgênicos. Além disso, o consumidor tem que ter acesso às pesquisas e a seus resultados, para poder optar pelo produto mais saudável, a seu critério. Estas informações poderiam ser disponibilizadas na Internet, pelo Ministério da Saúde/Agricultura de cada país, em linguagem acessível a qualquer cidadão, a exemplo do que é feito com o Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente RIMA - que sintetiza e disponibiliza as informações técnico-científicas dos Estudos de Impacto Ambiental - EIA.

As plantas transgênicas podem contribuir para uma maior produção de alimentos, porém, no momento, elas não são um fator fundamental para tanto, pois as principais causas da fome são a carência do poder de compra e de terra para auto-subsistência, as catástrofes naturais e tecnológicas e uma política mundial voltada unicamente para os interesses bélicos, econômicos e políticos, em detrimento dos interesses sociais, humanísticos, nutricionais e de saúde (pública, ambiental e ocupacional), dentre outros.

Conclusões

Este trabalho demonstrou que a técnica denominada Análise Preliminar de Riscos (APR) é eficaz na determinação das prováveis causas de impactos ambientais e na definição da gradação de riscos e de medidas preventivas e corretivas que devem ser adotadas para minimizar, neutralizar ou eliminar os problemas decorrentes da produção e o consumo de produtos vegetais transgênicos.

Recomenda-se, então, que seja procedida a rotulagem obrigatória dos produtos vegetais transgênicos, isto para que o consumidor tenha ciência dos riscos aos quais pode vir a estar exposto, por ocasião de seu uso.

Torna-se necessária, também, a ampla divulgação por parte dos órgãos competentes, dos estudos e pesquisas já realizados sobre produtos transgênicos, em nível internacional e nacional, bem como a promoção de debates sobre esta

temática, para um melhor esclarecimento da comunidade em geral.

REFERÊNCIAS

BIOTECNOLOGIA: esse admirável mundo novo. Plantas transgênicas. Produção: EMBRAPA-Recursos Genéticos e Biotecnologia. São Paulo: Cia. Imagem e Vídeo, [1997], 1 fita de vídeo, VHS, son., color.

FEIJÃO DO PARÁ. *Ciência Hoje*, Brasília. 18: 43-44, 1995.

KLEBA, J. B. Riscos e benefícios de plantas transgênicas resistentes a herbicidas: o caso da soja RR da MONSANTO. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, Brasília, v.15, p.9-42, 1998.

LOUREIRO, R. V. *Metodologia de elaboração de análises de riscos ambientais*. Vitória: F-MAPFRE, 1998 (mimeo).

MONSANTO. Biotecnologia soluções para o mundo de amanhã 2000. Folheto de caráter informativo. [São Paulo, 1999].

MONSANTO. *Biotecnologia: o futuro começa aqui*. São Paulo: Novo Disc Brasil, 1 CD-Rom, Pentium, 75 Mhz, Windows 95 ou superior, 1998.

PATERNIANI, E. Das plantas silvestres as transgênicas. Extraído de <http://www.embrapa.br>, acesso em 26 de junho de 2001.

SOARES, S. B. B. Biossegurança e transgênicos: aspectos jurídicos relevantes. *Revista da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica*, Rio de Janeiro, v.18, p.28-39, 2000.

TEACENCO, F. Plantas transgênicas: que tecnologia é esta. *Revista Agropecuária Catarinense*. Santa Catarina, v.12, p.41-43, 1999.