

FLUXO GÊNICO E RECOMBINAÇÃO ENTRE ESPÉCIES TRANSGÊNICAS E CONVENCIONAIS: IMPACTOS AMBIENTAIS E MEDIDAS MITIGADORAS

Adolf Hitler Cardoso de Araújo ¹

RESUMO

O fluxo gênico é um processo natural que se caracteriza como um dos potenciais riscos na disseminação dos organismos geneticamente modificados, tendo em vista a existência contínua de fatores que auxiliam em sua ocorrência como a dispersão de pólen, a mistura de sementes e a presença de plantas antecedentes. A transferência genética e a conseqüente introdução no genoma de outros organismos geram preocupações e muitas discussões acerca dos efeitos negativos que poderiam ser gerados. O principal fator que é levantado por muitos estudos é a proteção de espécies convencionais que podem ser extintas caso as novas seqüências gênicas que causem a expressão de efeitos nocivos ou o silenciamento de funções importantes. Em vista da possibilidade de ocorrência do fluxo gênico e de conseqüentes impactos, este trabalho tem como finalidade compreender o processo e evidenciar os impactos ambientais existentes e as medidas mitigadoras que são empregadas.

Palavras-chave: Transferência genética, Transgênicos, Recombinação.

1. INTRODUÇÃO

O fluxo gênico é um processo definido como a transferência de um gene ou genes de um indivíduo doador para outro sexualmente compatível, isto pode ocorrer em decorrência de fatores como a dispersão de pólen, a mistura de sementes e também pela presença de plantas provenientes de cultivares anteriores (NASCIMENTO et al., 2012; VASCONCELOS; CARNEIRO, 2013).

Essa transferência de genes é considerada um processo natural e evolutivo, que através da migração dos alelos entre as espécies acarreta na diminuição da diferenciação entre as populações pela existência da manutenção da união das mesmas, tendo em vista que ocorre um compartilhamento de alelos entre ambas (SCHUSTER, 2013).

Pela introdução de novos genes que quando expressos podem conferir características ou funções relevantes, esse processo atua juntamente com a seleção natural, isto em vista que somente irá existir a permanência e a estabilidade dos genes nas populações se ocorrer o desenvolvimento de alguma vantagem adaptativa e seletiva (COLLI, 2011; VEASEY et al., 2011).

¹ Graduando do Curso de Engenharia Sanitária da Universidade Estadual da Paraíba - PB, adolf_araujo@hotmail.com;

Sendo um fator essencial para a evolução das espécies, o fluxo gênico tornou-se um grande foco das preocupações nos últimos anos devido o advento de inúmeras plantações transgênicas, isto pela possibilidade de contaminação de espécies convencionais e conseqüentemente pelo desenvolvimento de alguma vantagem seletiva nas mesmas, e também pelas chances de criação de novas espécies (ANDRADE; FALEIRO, 2011).

No Brasil, o órgão responsável pela avaliação de risco do fluxo gênico entre espécies transgênicas e convencionais é a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, que através de minuciosas análises regulamentam e autorizam o cultivo e a comercialização de transgênicos no país, no qual se houver a identificação de algum risco de fluxo gênico, os transgênicos não são aprovados para liberação e comercialização (COSTA; MARIN, 2011).

Os transgênicos são organismos geneticamente modificados que são produzidos em larga escala e que continuamente ganham maiores demandas no mercado, no ano de 2017 a produção global destes organismos atingiu a área de 189,8 milhões de hectares, desta área o Brasil possuindo 50,2 milhões de hectares, tornando-se assim o segundo maior produtor de transgênicos do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (ISAAA, 2018).

Em decorrência desse alto cultivo aumenta-se a necessidade de maiores pesquisas que determinem estimativas acerca do fluxo gênico com a finalidade de buscar a manutenção da pureza genética dos recursos vegetais que possam ser afetados durante os processos de cultivo.

Tendo em vista a possibilidade de alteração da pureza genética dos recursos vegetais, torna-se necessário estudar e compreender o processo de fluxo gênico entre espécies transgênicas e convencionais visando a sua preservação e conservação. Por isso, este trabalho tem como principal objetivo compreender e evidenciar o processo de fluxo gênico, os seus conseqüentes impactos ambientais e as medidas empregadas para a sua mitigação.

METODOLOGIA

Este trabalho científico foi desenvolvido a partir de um levantamento bibliográfico realizado nas seguintes bases de dados: Scientific Electronic Library Online (SCIELO) e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), utilizando os seguintes descritores: fluxo gênico, recombinação e transgênicos.

Os seguintes critérios foram aplicados para a realização da pesquisa: artigos

publicados no período de 2007 e 2018, em inglês ou português, originais ou de revisão, que estivessem disponíveis na íntegra e que tratassem completamente do fluxo gênico entre espécies transgênicas e convencionais. Os seguintes critérios de exclusão foram aplicados: artigos repetidos, teses, dissertações e trabalhos científicos que não focassem em seu conteúdo primordialmente o processo de fluxo gênico entre espécies transgênicas e convencionais.

Diante desses critérios expostos, foram encontrados e analisados minuciosamente catorze estudos que compreenderam todos os critérios empregados e que auxiliaram em um pleno desenvolvimento deste trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 UMA ABORDAGEM GERAL ACERCA DO FLUXO GÊNICO

O fluxo gênico sendo considerado um processo evolutivo e que pode ocorrer entre espécies ou biótipos diferentes, desde que sejam sexualmente compatíveis e que se desenvolvam no mesmo ambiente. É preciso também a existência de sincronia no período de florescimento e deve existir alguma forma de transporte de elementos como pólen, grãos ou sementes (COLLI, 2011; NASCIMENTO et al., 2012).

Este processo pode se desenvolver a partir de diferentes transferências de alelos, tais como o fluxo gênico vertical e o fluxo gênico horizontal. O fluxo gênico vertical é um processo que ocorre através da troca de alelos entre indivíduos da mesma espécie, havendo assim a produção de descendentes férteis e viáveis. Enquanto no fluxo gênico horizontal, a troca de alelos ocorre entre indivíduos de espécies diferentes (ANDRADE; FALEIRO, 2011).

As formas de fluxo gênico vertical que devem ser monitoradas são a produção de sementes e a produção de grãos livres de OGMs (organismos geneticamente modificados) em decorrência da necessidade de sementes com alta pureza genética, sem nenhuma possibilidade de contaminação com outras espécies e para a produção de grãos geneticamente puros e dentro dos limites estabelecidos de pureza (SCHUSTER, 2013).

De acordo com Schuster (2013), o fluxo gênico vertical ainda pode ocorrer por via sementes, esta última podendo ocorrer nas diversas etapas de produção e também por ações antrópicas inadequadas como a limpeza inapropriada dos equipamentos, que conseqüentemente gera uma mistura de sementes ou grãos, o que favorece a ocorrência do

processo. Outro mecanismo de ocorrência é decorrente da presença de plantas voluntárias, nas quais as mesmas permanecem no solo e possivelmente germinam ao longo das próximas variedades cultivadas, tornando-se assim uma fonte de contaminação genética de grãos ou sementes.

O fluxo gênico por dispersão do pólen é favorecido pela ação do vento, de insetos ou de animais polinizadores e é um processo que só ocorre se existir proximidade no desenvolvimento das espécies, pois o pólen percorrendo várias áreas irá perder sua vitalidade em decorrência das condições climáticas e ambientais. Outro fator necessário para o fluxo gênico via pólen ocorrer é a necessidade de um período comum de floração entre as espécies doadoras e receptoras, pois estas últimas precisam estar com os estigmas receptivos para esse elemento (ANDRADE; FALEIRO, 2011).

A transferência genética via pólen é influenciada por inúmeros fatores, além dos já citados como a distância entre as espécies, a simultaneidade na floração e a ação de ventos, de insetos e de animais polinizadores, ainda têm-se a umidade, a temperatura, a coloração das plantas, a quantidade de produção de pólen e principalmente o tipo de reprodução existente na espécie (SCHUSTER, 2013). Segundo Nascimento et al (2012), o fluxo gênico via dispersão de pólen é o que necessita de maior cautela, em vista da complexidade e da ocorrência provocada por inúmeros fatores e pelas condições ambientais incontroláveis.

A ocorrência de fluxo gênico depende ainda da quantidade de indivíduos em migração e da frequência dos alelos nas duas espécies, tal frequência pode ser favorecida e elevada pela ação da seleção natural devido esta agir quando nota-se a possibilidade de conferir alguma vantagem específica as espécies portadoras dos alelos. Estes alelos permanecem na população quando há o desenvolvimento de alguma vantagem seletiva, caso contrário tem-se a sua eliminação. (COLLI, 2011; RAMALHO; FURTINI, 2009; VASCONCELOS; CARNEIRO, 2013).

Gavioli e Nunes (2015) salientam que o fluxo gênico é um processo extremamente complexo e que é difícil a sua mitigação em decorrência dos mecanismos reprodutivos possuírem barreiras de controle e de isolamento. Estes mecanismos são fundamentais para o estudo do fluxo gênico, em vista de algumas espécies serem mais suscetíveis ao processo que outras, isto sendo resultante do seu modo de reprodução.

O modo de reprodução das plantas é classificado em espécies autógamas, alógamas e intermediárias. As espécies autógamas são caracterizadas pela reprodução por

autofecundação, o que acarreta na baixa taxa de contaminação e de fluxo gênico, temos como exemplo desses tipos de plantas o feijão e a soja. No caso das espécies alógamas, as mesmas possuem a fecundação cruzada como modo de reprodução, uma grande maioria sendo resultante da dispersão do pólen de outras espécies, temos como exemplo o milho como espécie alógama. As espécies intermediárias apresentam autogamia com freqüente alogamia, temos como exemplo o algodão (SCHUSTER, 2013).

Os artigos encontrados salientam que o desenvolvimento do fluxo gênico apresenta a mesma possibilidade de ocorrência para espécies transgênicas e para espécies convencionais, evidenciando assim que é um processo natural que acontece independente de qualquer modificação genética. No entanto, justamente por ocorrer naturalmente tem-se a necessidade de um monitoramento contínuo das variedades transgênicas cultivadas em vista da manutenção das variedades puras geneticamente, da variabilidade das espécies cultivadas e das condições locais de cultivo.

2.2 POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS E MEDIDAS MITIGADORAS

Os possíveis impactos ambientais oriundos do fluxo gênico entre espécies transgênicas e convencionais tratam-se de alterações e efeitos não intencionais na dinâmica e no equilíbrio das populações, nos quais conseqüentemente acabam afetando os ecossistemas de diversas formas. Alterações na diversidade e na pureza genética de algumas espécies podem acarretar em modificações fisiológicas e metabólicas, devido novas seqüências genéticas serem geradas e expressas (COSTA et al., 2011).

Os artigos salientam que no caso de transgênicos resistentes a doenças ou a insetos tem-se a possibilidade da geração de novas manifestações ou inibições genéticas, acarretando assim no desenvolvimento de novas características e funções das espécies o que conseqüentemente provoca um desequilíbrio na estrutura da cadeia alimentar natural. Em decorrência da contínua evolução seletiva pode-se ainda ter a formação de espécies competidoras mais resistentes e adaptativas, e em vista disso é possível que ocorra o surgimento de espécies invasoras e a eliminação de espécies nativas importantes.

A transferência de genes pode ser incorporada e expressa de forma significativa e por isso devem-se aplicar formas e métodos que busquem minimizar ou eliminar essa possibilidade de impacto, dessa forma tem-se a necessidade do emprego da biossegurança,

que é uma área que visa justamente evitar ou minimizar os impactos negativos que possam ser oriundos dos transgênicos e seus derivados. Estes organismos para serem liberados e comercializados passam por um longo período de testes que possuem a finalidade de verificar e analisar os riscos existentes em seu cultivo, na existência dos mesmos tem-se o desenvolvimento de métodos e medidas de monitoramento e de manejo que auxiliam na detecção e na mitigação de impactos negativos (VALICENTE, 2009).

Na existência de riscos tem-se a determinação formas mitigadoras do fluxo gênico acerca do manejo e do monitoramento dos transgênicos, estas sendo regras de isolamento e a restrição geográfica dos cultivos geneticamente modificados. Outras formas como o desenvolvimento de transgênicos com genes terminadores que evitam a dispersão dos transgenes, como a transformação de organelas e linhagens de machos estéreis e a construção de biomonitoramento in vivo ainda estão sendo estudadas para verificar a viabilidade das mesmas (SILVA et al., 2007).

As regras de isolamento no Brasil são determinadas pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), na qual estabelece determinadas distâncias entre o cultivo de espécies transgênicas e convencionais. Essas distâncias passam por longos estudos de biossegurança e com isso as mesmas são específicas para cada tipo de espécie transgênica cultivada devido algumas cultivares apresentarem maior suscetibilidade de fluxo gênico, porém ainda existem discussões acerca dessas distâncias em razão de alguns pesquisadores afirmarem que as mesmas não são suficientes para manter e assegurar a coexistência entre cultivares transgênicas e convencionais (SCHUSTER, 2013).

No Brasil, temos o cultivo de três espécies transgênicas, que são o algodão resistente a insetos, o milho resistente a insetos e a soja tolerante a herbicidas (Quadro 1). Para essas espécies existem diferentes formas de manejo, nas quais são extremamente importantes para a manutenção de uma produtividade eficiente destes organismos, no caso do algodão além do emprego da restrição geográfica utilizam-se também as regras de isolamento (CTNBio, 2007; CTNBio, 2008).

Algumas regras de isolamento determinam a implantação de barreiras físicas denominadas bordaduras que possuem a finalidade justamente de diminuir a possibilidade de contato do pólen com alguma cultivar convencional e nativa. No caso da soja tolerante a herbicida, por ser uma espécie autógama que se reproduz por autofecundação, tem-se uma baixa possibilidade de ocorrência do fluxo gênico e devido a isso não existe exigência mínima

para o seu cultivo. No entanto, mesmo com essa característica reprodutiva pode haver a polinização cruzada que acarreta em discussões acerca das distâncias não estabelecidas (SILVA; MACIEL, 2010).

No caso do milho resistente a insetos, o problema é bastante preocupante devido a sua reprodução por fecundação cruzada, porém o fluxo gênico apresenta baixa possibilidade de ocorrência quando tem-se o emprego do espaçamento adequado e também sugere-se a criação de zonas de exclusão para manter a coexistência entre variedades transgênicas e convencionais (NASCIMENTO et al., 2012).

Quadro 1 – Regras de isolamento para os transgênicos cultivados no Brasil

Espécies Transgênicas do Brasil	Algodão resistente a insetos	Milho resistente a insetos	Soja tolerante a herbicida
Tipos de Reprodução	Autogamia com freqüente alogamia.	Alogamia (fecundação cruzada).	Autogamia (autofecundação).
Regras de Isolamento	<ul style="list-style-type: none"> • Distância mínima de 800 metros de quaisquer outras espécies de algodoeiro. • Distância mínima de 250 metros de qualquer algodoeiro e utilizar bordaduras de contenção apresentando 30 linhas de algodoeiro convencional e 10 linhas de milho. 	<ul style="list-style-type: none"> • Distância igual ou superior a 100 metros de uma cultivar de milho não transgênico. • Distância de 20 metros alternativamente com bordadura de no mínimo 10 fileiras de milho convencional com características semelhantes ao milho transgênico. 	Não há determinação de distância.

Fonte: Adaptação de Andrade e Faleiro, 2011.

A restrição geográfica trata-se de um zoneamento realizado através de estudos acerca da caracterização reprodutiva e fitogeográfica das espécies, no qual o cultivo dos transgênicos é determinado pela localização e pela existência de espécies nativas, isto visa justamente evitar a transferência genética para espécies importantes que não devem se tornar extintas e para a manutenção da pureza de sua diversidade genética (ANDRADE; FALEIRO, 2011).

De acordo com a Lei 11.460 de 21 de março de 2007, a questão das regras de isolamento e da restrição geográfica deve ser analisada caso a caso, e estas medidas devem

considerar áreas indígenas e unidades de conservação, nas quais está proibido o cultivo de qualquer espécie geneticamente modificada.

Uma das medidas aplicadas no cultivo dos transgênicos é o de monitoramento em tempo real, o mesmo baseia-se no emprego de marcadores fluorescentes que são aplicados no transgene e a partir disso tem-se a detecção de sinais fluorescentes na planta quando há a ocorrência do fluxo gênico. Outro método é o de sinalizadores moleculares, que também se baseia na fluorescência de moléculas que são emitidas quando aproximadas das sondas de ácidos nucleicos (SILVA et al., 2007).

De acordo com Pereira et al (2012), as pesquisas de monitoramento do fluxo gênico no ambiente de plantas como canola, milho, beterraba e batata, evidenciaram que as chances de ocorrência são extremamente baixas em decorrência da competição existente no meio entre espécies transgênicas e convencionais.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos argumentos expostos, pode-se salientar a importância da avaliação realizada previamente acerca do fluxo gênico e de outros possíveis impactos. Tais estudos auxiliam no desenvolvimento pleno das espécies que só serão liberadas quando existir o asseguramento da ausência ou de baixas possibilidades de ocorrência.

Essas análises são indispensáveis e são consideradas bastante complexas, pois devem considerar múltiplas características fisiológicas e metabólicas do organismo e os consequentes efeitos gerados pelo seu desenvolvimento. Por isso, a análise deve ser realizada caso a caso e de forma bastante minuciosa a fim de gerar uma confiabilidade na liberação e na comercialização desses organismos.

É preciso enfatizar que mesmo após longos anos de cultivo dos transgênicos, não foram observados transferências gênicas significativas entre espécies com compatibilidade e também não existiu a extinção de espécies convencionais pelo fluxo gênico. Entretanto, a possibilidade de ocorrência existe então as medidas mitigadoras devem ser empregadas a fim de ter um desenvolvimento eficaz das espécies sem a introgressão não intencional em outras linhagens.

Outro fator que necessita ser enfatizado é a carência de estudos acerca do tema, por isso torna-se necessária a continuidade de avaliações mais amplas no desenvolvimento de novos transgênicos e também nos já existentes.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, S. R. M.; FALEIRO, F. G. Biossegurança ambiental e alimentar de OGMs. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; JUNIOR, F. B. R. Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária. Planaltina, DF. **Embrapa Cerrados**, p. 471-510, 2011.

BRASIL. Comunicado nº4, de 2008. Comunicados da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, 2008.

BRASIL. Resolução nº4, de 2007. Resoluções Normativas da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio., 2007.

COLLI, W. Organismos transgênicos no Brasil: regular ou desregular? **Revista USP**, n. 89, p. 148-173, 2011.

Congresso Nacional. Lei 11.460 de 21 de março de 2007. Dispõe sobre o plantio de organismos geneticamente modificados em unidades de conservação. Diário Oficial da União, Brasília. 22 mar. 2007a.

COSTA, T. E. M. M. et al. Avaliação de risco dos organismos geneticamente modificados. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 16, n. 1, p. 327-336, 2011.

COSTA, T. E. M. M.; MARIN, V. A.. Rotulagem de alimentos que contém Organismos Geneticamente Modificados: políticas internacionais e Legislação no Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p. 3571-3582, 2011.

GAVIOLI, A. P. R.; NUNES, J. S. A soja transgênica no Brasil e suas influências à saúde e ao meio ambiente. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 1-16, 2015.

ISAAA. 2017. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years. **ISAAA Brief No. 53**, 2018.

NASCIMENTO, V. E. et al. Fluxo gênico em milho geneticamente modificado com resistência a insetos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 784-790, 2012.

PEREIRA, W. A. et al. Fluxo gênico recíproco entre cultivares de soja convencional e geneticamente modificada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 227-236, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; FURTINI, I. V. Técnicas biotecnológicas aplicadas ao melhoramento vegetal: alcance e limites. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, 2009.

SCHUSTER, I. Fluxo gênico e coexistência de lavouras com espécies transgênicas e convencionais. **Informativo Abrates**, v. 23, n. 1, p. 39-45, 2013.

SILVA, E. C.; MACIEL, G. M. Fluxo gênico em soja na região do sul de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, 2010.

SILVA et al., A. L. L. Contenção do fluxo gênico de plantas geneticamente modificadas. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, v. 19, n.1, p. 18-26, 2007.

VALICENTE, F. H. Avaliação de risco de culturas transgênicas resistentes à insetos. In: PÍPOLO, V. C. (Org.). Culturas transgênicas: uma abordagem de benefícios e riscos. Londrina: EDUEL, 2009. p. 174-191.

VASCONCELOS, M. J. V; CARNEIRO, A. A. Biossegurança de Plantas Geneticamente Modificadas. **Embrapa**, 2013.

VEASEY, E. A. et al. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, 2011.