



ISSN 1678-9644

Dezembro, 2005

*E*mpresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
*E*mbrapa Arroz e Feijão  
*M*inistério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

## *Documentos 185*

# **Fluxo Gênico em Feijoeiro Comum: Ocorrência e Possíveis Conseqüências**

Patrícia Valle Pinheiro  
Josias Correa de Faria

Santo Antônio de Goiás, GO  
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Arroz e Feijão**

Rod. GO 462, Km 12  
Caixa Postal 179  
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO  
Fone: (0xx62) 3533 2123  
Fax: (0xx62) 3533 2100  
[sac@cnpaf.embrapa.br](mailto:sac@cnpaf.embrapa.br)  
[www.cnpaf.embrapa.br](http://www.cnpaf.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

Presidente: *Carlos Agustín Rava*  
Secretário: *Luiz Roberto Rocha da Silva*  
Membros: *Heloísa Torres da Silva*  
*Leonardo Cunha Melo*

Supervisor editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*  
Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*  
Revisão de texto: *Vera Maira T. Silva*  
Capa: *Deise Lara de Oliveira*  
Editoração eletrônica: *Fernando B. P. Simon e Fabiano Severino*

**1<sup>a</sup> edição**

1<sup>a</sup> impressão (2005): 500 exemplares

---

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Arroz e Feijão

---

Pinheiro, Patrícia Valle.

Fluxo gênico em feijoeiro comum : ocorrência e possíveis consequências /  
Patricia Valle Pinheiro, Josias Correa de Faria. - Santo Antônio de Goiás :  
Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

28 p. - (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644 ; 185)

1. Feijão - Fluxo gênico. 2. Feijão - Hibridação natural. I. Faria, Josias  
Corrêa de. II. Título. III. Embrapa Arroz e Feijão. IV. Série.

CDD 635.652 (21. ed.)

---

© Embrapa 2005

# **Autores**

## **Patrícia Valle Pinheiro**

Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciências Agrárias  
Embrapa Arroz e Feijão  
Rod. Goiânia a Nova Veneza, Km 12  
75375-000 Santo Antônio de Goiás - GO  
[patricia@cnpaf.embrapa.br](mailto:patricia@cnpaf.embrapa.br)

## **Josias Correa de Faria**

Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em  
Fitopatologia/Biotecnologia  
Embrapa Arroz e Feijão  
[josias@cnpaf.embrapa.br](mailto:josias@cnpaf.embrapa.br)



# Apresentação

O fluxo gênico entre espécies aparentadas e entre cultivares de uma mesma espécie é um dos principais questionamentos quanto à liberação de plantas geneticamente modificadas (GM) no ambiente. Apesar de que a transferência de genes de variedades silvestres para cultivadas, ou no sentido contrário, sempre ocorreu na natureza, as plantas GM possuem genes de espécies sexualmente incompatíveis, que dificilmente seriam incorporados de forma natural. Por isso, o feijoeiro geneticamente modificado para resistência ao Vírus do Mosaico Dourado vem sendo avaliado quanto a diversos aspectos relacionados à biossegurança, entre eles a possibilidade de ocorrência de fluxo gênico.

Como o Brasil não é um centro de origem do feijoeiro e esta planta é predominantemente autógama, a probabilidade de ocorrência de fluxo gênico entre uma planta GM e outras cultivadas é baixa. No entanto, variações nas taxas de cruzamento natural entre plantas de feijoeiro foram observadas por diversos autores, o que levanta a necessidade de estudos de biossegurança neste caso.

Neste documento pretendeu-se reunir informações sobre a ocorrência de fluxo gênico em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes localidades, os prováveis agentes polinizadores da planta e as implicações destes fatos na segurança ambiental do uso de uma cultivar de feijoeiro GM.

Beatriz da Silveira Pinheiro  
Chefe-Geral da Embrapa Arroz e Feijão



# **Sumário**

Introdução .....	9
Fluxo Gênico e suas Implicações para a Segurança de Plantas Geneticamente Modificadas .....	11
Feijoeiro Geneticamente Modificado para Resistência ao Mosaico Dourado .....	13
Origem do Feijoeiro Cultivado .....	14
Morfologia Floral .....	15
Mecanismos de Polinização .....	17
Fluxo gênico em Feijoeiro Comum .....	18
Referências Bibliográficas .....	23



# **Fluxo Gênico em Feijoeiro Comum: Ocorrência e Possíveis Consequências**

---

*Patrícia Valle Pinheiro e Josias Correa de Faria*

## **Introdução**

Fluxo gênico é a disseminação, transferência ou estabelecimento de genes/alelos típicos de uma população para outra da mesma espécie por meio da dispersão dos gametas ou dos zigotos. A extensão do processo migratório de alelos entre populações de uma mesma espécie é função da diferença nas freqüências alélicas das duas populações, do tamanho e da estrutura das populações e da capacidade de dispersão dos gametas, sendo considerado um fator de evolução (Rieger et al., 1976). O fluxo gênico pode ocorrer por meio da dispersão de semente ou de pólen, podendo ser vertical, quando envolve cultivares e/ou populações da mesma espécie, ou horizontal, quando envolve a hibridação entre espécies diferentes (Borém & Santos, 2002). Em plantas, o fluxo gênico se dá por pólen, sementes e propágulos vegetativos. Destes, acredita-se que o pólen seja o mais efetivo.

O fluxo gênico, tanto para as espécies silvestres como para as crioulas, ou para as cultivares da mesma espécie, recentemente passou a fazer parte de estudos de avaliação de riscos por ter o cultivo de plantas transgênicas sido considerado causador de impactos ecológicos, tendo como uma das possíveis consequências o escape gênico. Desde os primórdios da agricultura, a seleção foi feita através da transferência de alelos entre cultivares e a partir de seus tipos silvestres, com base na variabilidade genética.

Cientistas das mais variadas formações acadêmicas e áreas de pesquisa vêem o fluxo gênico ora como benéfico, ora como de alto risco potencial. Ou seja, o

cruzamento de tipos silvestres com os cultivados para se obter alguma vantagem em novas cultivares é visto como benéfico no melhoramento genético, mas se o alelo da espécie cultivada se mover na direção do tipo silvestre, o fluxo é visto como indesejável e potencialmente perigoso. Os efeitos dos cruzamentos naturais tornaram-se ainda mais relevantes com o desenvolvimento de plantas geneticamente modificadas (GM). A ocorrência natural de polinização cruzada pode ser considerada um risco ecológico, considerando que os genes introduzidos na planta GM apenas ocasionalmente seriam incorporados de forma natural (Quecini & Vileira, 2001). A possibilidade de transferência de transgenes para parentais silvestres, mesmo em baixas proporções, ressalta a necessidade de serem realizados estudos de biossegurança para fazer uma análise das possíveis consequências da liberação comercial de plantas GM no ambiente. Um exemplo é o feijoeiro GM para resistência ao mosaico dourado, que está sendo avaliado sob vários aspectos relacionados à biossegurança, entre eles a possibilidade de ocorrência de fluxo gênico. O conhecimento da ocorrência e da distância máxima em que o fluxo gênico pode ocorrer é importante, ainda, para manter a pureza das cultivares.

O feijão tem grande importância econômica, social e cultural no Brasil, maior produtor e consumidor mundial deste grão (FAO, 2005). Como principal constituinte protéico da dieta dos brasileiros, o feijão faz parte da cultura culinária do nosso país, onde é cultivado o ano todo, em pequenas e grandes propriedades, com uso de diferentes níveis de tecnologia.

São cultivados no Brasil o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e a fava (*P. lunatus* L.), espécies que foram introduzidas. Não há registros de espécies silvestres destes gêneros no Brasil, uma vez que não se trata de um centro de origem (Debouck, 1988). A maioria das espécies do gênero *Phaseolus* são predominantemente autógamas, podendo ser observadas baixas taxas de cruzamento natural, que são geralmente consideradas irrelevantes. Entretanto, dependendo das condições do local de plantio e das características das plantas, a polinização cruzada pode causar alguns efeitos indesejáveis, como a desuniformidade das cultivares, no caso de produção de sementes (Pacova & Rocha 1975; Tucker & Harding, 1975). Além do aspecto do fluxo gênico, há ainda o questionamento de que plantas cultivadas poderiam tornar-se plantas daninhas. O termo planta daninha refere-se a qualquer vegetal que se desenvolve onde não é desejado pelo homem (Lorenzi, 1994). Em geral, as plantas daninhas produzem sementes precocemente em seu ciclo de vida,

multiplicam-se eficientemente tanto por estruturas vegetativas como por sementes, que apresentam vida longa, dormência ou falta de sincronia na germinação, alta adaptação para coexistir e se disseminar junto com as sementes das culturas. Além disso, elas produzem aleloquímicos, que podem suprimir ou retardar o desenvolvimento de outras espécies, e possuem espinhos ou outras características que repelem os predadores (Stewart & Wheaton, 2003). Tais características não estão presentes no feijoeiro. Ao contrário, o feijoeiro cultivado depende da interferência humana para sua sobrevivência.

Neste documento é apresentada uma revisão sobre a capacidade de hibridização natural em *P. vulgaris* e suas consequências com relação à segurança ambiental do feijoeiro GM.

## **Fluxo Gênico e suas Implicações para a Segurança de Plantas Geneticamente Modificadas**

Desde o início das atividades agrícolas, muito já se fez na melhoria das espécies via melhoramento genético, buscando incorporar fenótipos de interesse por meio de cruzamentos entre indivíduos de uma mesma espécie ou mesmo de espécies diferentes, porém correlatas. É aceito pela ciência que na maioria das culturas importantes no mundo sempre houve fluxo gênico entre espécies cultivadas, silvestres ou crioulas e entre os parentes com características de plantas daninhas, pois a maioria das cultivares desenvolvidas pelos métodos tradicionais de melhoramento são compatíveis sexualmente entre si e com seus parentes silvestres (Gepts, 2004). A diferença deste processo com o desenvolvimento de plantas GM é que as novas ferramentas da biotecnologia possibilitaram a introdução de genes de espécies sexualmente incompatíveis, o que dificilmente ocorreria de forma natural. Por esse motivo, surgiu o conceito de “risco ecológico”, relacionado à segurança da liberação comercial de plantas GM no ambiente. O fluxo gênico entre cultivares, ou destas para os seus parentes silvestres, é considerado uma consequência indesejável em decorrência da adoção de plantas geneticamente modificadas (Wozniak, 2002). Fatores como a proximidade física de espécies compatíveis (distância que o pólen se movimenta a partir de plantas GM), sincronia do florescimento (entre a planta GM e a planta receptora do pólen), adaptação dos híbridos (ecologia da espécie receptora), tipo de sistema reprodutivo e de

polinização e modo de dispersão das sementes afetam o fluxo gênico (Ellstrand et al., 1999). A possibilidade de que a seleção natural atue elevando as freqüências de alelos introduzidos, caso eles confiram alguma vantagem seletiva aos seus portadores, é um dos questionamentos a respeito da liberação de plantas GM.

A área cultivada com plantas GM vem crescendo a cada ano, desde as primeiras liberações comerciais, em 1994, chegando a mais de 81 milhões de hectares em 2004 (James, 2004). Este aumento da área cultivada reforça a necessidade de se conhecer parte do risco ecológico proveniente do fluxo gênico entre as cultivares GM e as não transgênicas, cultivadas ou silvestres.

A probabilidade de ocorrência de fluxo gênico, que mede o risco ambiental de plantas GM, dependerá de cinco fatores fundamentais: 1) distância de movimentação do pólen liberado da espécie GM; 2) sincronismo de floração da espécie recipiente com a GM; 3) compatibilidade sexual entre as duas espécies; 4) ecologia das espécies recipientes (Dale et al., 2002), e 5) características florais específicas.

A oportunidade para o transgene escapar via hibridização depende primeiro da presença do tipo crioulo ou silvestre, ou de espécies aparentadas capazes de cruzar sob condições naturais.

O processo de transferência ocorre quando o pólen passa da cultura GM para a outra, de ocorrência espontânea, ou, ainda, quando sementes das plantas GM apresentam capacidade de permanência por períodos longos em vida livre. O potencial para a ocorrência do fluxo gênico com base no pólen certamente depende da dispersão geográfica da cultura e dos seus parentes silvestres, como plantas daninhas, se houver (Messeguer et al., 2001). Um exemplo típico é o do arroz cultivado, sexualmente compatível com outros genótipos da mesma espécie as quais são consideradas plantas invasoras, como o arroz vermelho, normalmente presente em campos de produção, sinalizando a existência de grande potencial de cruzamento (Messeguer, 2003). Em contraste, têm-se, por exemplo, cultivares de batata que não florescem em determinados ambientes, ou de feijoeiro com presença marcante de cleistogamia e sem parentes silvestres na região de cultivo, e ainda, fora de seu centro de origem. Estes fatores tornam a transferência de genes improvável, ou de baixo impacto no caso do feijoeiro GM.

## Feijoeiro Geneticamente Modificado para Resistência ao Mosaico Dourado

O mosaico dourado, causado pelo *Bean golden mosaic virus* (BGMV), é uma das principais doenças do feijoeiro, sendo o vírus transmitido pela mosca branca *Bemisia tabaci*.

Esta doença tem causado grandes prejuízos aos produtores, chegando mesmo a restringir a produção de feijão em algumas regiões do país (Barbosa et al., 2001). Os principais sintomas do mosaico dourado são redução do crescimento da planta, deformação, encarquilhamento e amarelecimento das folhas, que ficam com uma aparência amarelo intensa, generalizada. Já as folhas jovens podem enrolar-se ligeiramente ou apresentar rugosidade bem definida. Os sintomas iniciam-se nas folhas mais novas como pequenas manchas amarelo vivo, atingindo posteriormente toda a planta. Os principais danos são a deformação, redução do número e tamanho das vagens, diminuição de número, tamanho e peso médio das sementes (Costa, 1976). De acordo com Faria (1988), em condições de campo, os primeiros sintomas aparecem dos 14 aos 17 dias de plantio, quando ocorre alta infestação de moscas virulíferas. Os sinais nítidos da doença aparecem quando as plantas têm de três a quatro folhas trifolioladas (25 – 30 dias).

Tradicionalmente, o controle do mosaico dourado do feijoeiro tem sido feito pelo manejo do vetor, através do uso de agrotóxicos. Porém, em altas infestações, as aplicações de agrotóxicos não têm sido eficientes. Alguns autores afirmam que esta espécie de mosca branca tem alta capacidade de adquirir resistência aos tratamentos químicos (Lourenço & Nagai, 1994), uma vez que suas populações se adaptam rapidamente às condições adversas, sofrendo mutações e gerando novos biótipos dentro da mesma espécie (Lima et al., 2000, 2002).

Até o momento não foi observada imunidade natural ao mosaico dourado em genótipos do gênero *Phaseolus*, capaz de conferir alto grau de tolerância à doença (Aragão et al., 2001), o que dificulta o desenvolvimento de cultivares resistentes a esta doença pelas técnicas do melhoramento genético tradicional. A obtenção de plantas geneticamente modificadas pode ser considerada uma alternativa neste caso, buscando novos genes de resistência.

Com base neste princípio, uma tecnologia promissora para a solução deste problema foi desenvolvida por Aragão et al. (2001). Foi obtida uma linhagem de

feijoeiro transgênico para resistência ao vírus do mosaico dourado, conhecida até o momento como linhagem M1-4. Para obtenção desta planta transgênica foram aplicados dois princípios científicos: a resistência derivada do patógeno, que utiliza sequências genômicas do próprio vírus, e a transdominância letal, envolvendo a proteína viral REP modificada, com a função de interferir na ligação normal da proteína produzida pelo vírus ao sítio de iniciação da replicação (Aragão et al., 1998, 2001). Foi utilizado o gene *bar* para a seleção dos transformantes, o qual confere resistência ao herbicida glifosinato de amônia. As plantas de feijão GM já ultrapassaram dez gerações, apresentando o mesmo comportamento de resistência à doença (Aragão et al., 2001).

Os genes introduzidos no feijão não deverão conferir qualquer vantagem seletiva ou competitiva em comparação com o feijão não transgênico, além da resistência ao mosaico dourado. Deve-se dizer que, em ausência do herbicida específico, não há qualquer seleção. O melhoramento convencional do feijoeiro já vem introduzindo genes de resistência a doenças, provenientes da própria espécie, sem, contudo, necessitar da avaliação de impacto ambiental destas cultivares melhoradas. Isto é possível principalmente pelo fato de o feijoeiro domesticado ser uma planta dependente do homem para a sua existência, em nossas condições.

## Origem do Feijoeiro Cultivado

O gênero *Phaseolus* possui cerca de 52 espécies, das quais apenas cinco apresentam importância econômica: *P. vulgaris* (feijão comum), *P. coccineus* (feijão ayocote), *P. lunatus* (feijão de lima), *P. acutifolius* (feijão tepari) e *P. polyanthus* (Debouck, 1991). Segundo Debouck (1988), foram identificados três centros de diversidade genética do gênero nas Américas: mesoamericano, norte e sul dos Andes. Evidências indicam que o feijão comum foi domesticado independentemente em dois centros primários, América Central e México e sul dos Andes, e em um centro secundário ao norte dos Andes (Gepts & Debouck, 1991). No Brasil, que não é centro de origem do feijoeiro, foram introduzidas as espécies *P. vulgaris* e *P. lunatus*, cultivadas em todo o país, especialmente o feijoeiro comum, do qual o Brasil é o maior produtor e consumidor mundial. De acordo com Zimmermann & Teixeira (1996), o feijoeiro teve sua origem no Novo Mundo, provavelmente desde o México até a Argentina. Os autores citam três hipóteses relativas à origem das formas cultivadas da espécie: a) Teria sido

domesticado na Mesoamérica e transportado para a América do Sul. Há evidências favoráveis e contrárias a esta proposta, entre as quais as de que remanescentes silvestres de *P. vulgaris* não foram encontrados nos locais onde deveriam ocorrer; b) O feijoeiro teria sido domesticado na América do Sul e transportado para a América do Norte. Evidências arqueológicas da existência de feijão domesticado na América do Sul (Andes, sítio de Guitarrero), datadas de 10.000 AC, foram encontradas no Peru; c) O feijoeiro teria sofrido domesticações independentes ao longo da área de ocorrência do tipo silvestre (Peru e México). As evidências favoráveis a estas hipóteses são as áreas de ocorrência de feijões silvestres, as características dos tipos domesticados que são diferentes e o fato de que as domesticações ocorreram em períodos anteriores ao período em que contatos formais entre os continentes fossem conhecidos. Ainda, com relação ao Brasil, sugere-se que os feijões de grãos pequenos, mesoamericanos, originários do México, tenham seguido para o Caribe, Colômbia, Venezuela e daí para o Brasil; Já os feijões de grãos grandes, com faseolina tipo "T", devem ser oriundos dos Andes, Peru. E, finalmente, há os feijões que foram trazidos por imigrantes, constituindo-se nas introduções mais recentes, como o tipo Carnaval, preferido pelos imigrantes italianos (Gepts et al., 1988).

## Morfologia Floral

O feijoeiro comum apresenta flor perfeita, com pedicelo, cálice, corola, androceu e gineceu. A corola é pentâmera, com três pétalas livres e duas menores, soldadas na base, formando a denominada "quilha", a qual protege os órgãos de reprodução. Englobada na quilha e seguindo as suas circunvoluções encontram-se os filamentos de nove estames fusionados e um livre, envolvendo o ovário. O pistilo tem um ovário com cinco a oito óvulos, podendo chegar a dez. O estilete é encurvado e o estigma é achataido, ligeiramente deprimido. Os filamentos acompanham o estilete de tal modo que os sacos polínicos são comprimidos sobre o estigma. Assim, o pólen é liberado diretamente sobre a superfície estigmática, resultando na autopolinização (Bliss, 1980). Ainda de acordo com o mesmo autor, a deiscência das anteras e autopolinização ocorrem em estágio tardio do desenvolvimento das flores, usualmente à noite, e o tubo polínico se desenvolve imediatamente. A deiscência dos sacos polínicos depende da maturação do pólen, sendo favorecida pela queda de umidade relativa do ar. As flores se abrem na parte da manhã, provavelmente em resposta à temperatura e à luz. Este tipo de flor favorece a autopolinização.

Mesmo apresentando essa estrutura, cruzamentos naturais entre indivíduos da mesma espécie podem ocorrer em baixas proporções, que variam em função da cultivar, do local, do clima, da população dos insetos polinizadores, morfologia floral e coincidência do período de floração (Barrons, 1939; Ramalho & Santos, 1982). Em estudos sobre o desenvolvimento das estruturas reprodutivas de *P. vulgaris*, Webster et al. (1977) observaram que algumas características morfológicas podem contribuir para a autopolinização do feijoeiro, tais como: proximidade das anteras e do estigma na fase de maturação; maturação quase simultânea do pólen e receptividade da superfície do estigma; e possivelmente pela posição e orientação dos pelos estilares. Segundo estes autores, a presença de uma variação morfológica no pistilo de algumas flores da cultivar *Light Red Kidney* torna o estigma receptivo, em baixa freqüência, mesmo após a abertura completa da flor. Tais flores estariam aptas a receber polinização cruzada através de abelhas e outros insetos.

Com relação à hibridização entre espécies de *Phaseolus*, o feijão comum dificilmente cruza com outras espécies. *P. lunatus*, ou feijão de lima, tem capacidade mais ampla de adaptação que o feijoeiro comum. É filogeneticamente a espécie mais distante de *P. vulgaris*. Apenas dois casos de sucesso foram relatados de cruzamentos (Zimmermann & Teixeira, 1996). Com o *P. acutifolius*, ou feijão tepari, também com dificuldade, pode-se obter cruzamentos interespecíficos. Por outro lado, *P. coccineus*, ou feijão ayocote, apresenta estigma exposto, proporcionando maior taxa de polinização cruzada dentro de sua espécie. Do cruzamento de *P. vulgaris* com outras espécies de *Phaseolus* (principalmente com *P. coccineus*), podem-se obter híbridos viáveis, utilizando-se *P. vulgaris* como fonte de citoplasma. Em todos estes casos, porém, a hibridização só foi possível com a assistência humana e ajuda laboratorial do cultivo *in vitro* dos embriões, devido a problemas relacionados à incompatibilidade entre os embriões e o endosperma (Zimmermann & Teixeira, 1996).

## Mecanismos de Polinização

Não há um consenso sobre quais espécies de insetos são mais significativas na polinização do feijoeiro. Muitos autores citam as abelhas como as principais espécies de insetos polinizadores da cultura (Stoetzer, 1984; Ibarra-Perez et al., 1997). Darwin (1857) afirmou que o movimento do pistilo, realizado pelo toque

das abelhas, poderia contribuir na fertilização da flor pelo seu próprio pólen, mas não descreveu a espécie ou cultivar de feijão utilizada em seu estudo. Este autor generalizou que as flores perturbadas pelas abelhas produziram mais do que aquelas que não foram movimentadas pelos insetos. Taylor (1919) contestou estes resultados, afirmando que a polinização cruzada do feijoeiro pelas abelhas pode ocorrer, no entanto, a ausência destes insetos não prejudicaria a produção, já que pode ser obtida alta produção de feijão em casas de vegetação onde as abelhas não estão presentes. Free (1966) também considerou improvável que as abelhas tenham efeito significativo na produção de feijão, mesmo tendo comprovado que plantas de *P. vulgaris* conduzidas em gaiolas com abelhas produziram 21% a mais em peso de sementes e 6% a mais em peso de vagens, em comparação com as plantas conduzidas sem o contato das abelhas.

Mommers (1971), citado por McGregor (1976), estudou a polinização de feijões cultivados *in vitro* e observou que as abelhas não influenciaram o desenvolvimento e a produção de *P. vulgaris*, concluindo que os resultados obtidos por Free (1966) foram influenciados por diferenças varietais. Em estudo desenvolvido por Santana et al. (2002) na região de Lavras, MG, muitas espécies de abelhas (especialmente *Paratrigona lineata*, *Trigona spinipes* e *Apis mellifera*) foram observadas visitando flores de feijoeiro, mas sua eficiência como polinizadores não foi avaliada neste trabalho. Mackie & Smith (1935) argumentaram que as abelhas visitantes em nenhum momento foram observadas forçando a abertura das flores de feijoeiro. Como as anteras do feijoeiro derramam o pólen antes da abertura da flor, estes autores concluíram que as abelhas não teriam condições de contribuir para a polinização cruzada do feijoeiro.

Outros autores afirmam que os insetos da ordem Thysanoptera, conhecidos como tripes, são os verdadeiros responsáveis pela polinização cruzada do feijoeiro no campo (Mackie & Smith, 1935; Antunes et al., 1973; Pereira Filho & Cavariani, 1984). Grande ocorrência de tripes da espécie *Frankliniella occidentalis* foi observada por Mackie & Smith (1935) em flores de feijoeiro. A discussão realizada por estes autores está baseada no fato de que, como estes insetos se alimentam de partes das flores, incluindo o pólen e o néctar, e são capazes de perfurar os tecidos para atacar os órgãos性uais, provavelmente teriam grande importância na ocorrência natural da polinização cruzada em feijoeiro. Observaram também ocorrência de grande número de tripes em uma única flor e concluíram que a competição por alimento poderia levar estes insetos a procurar outras flores, carregando, assim, grãos de pólen em seu corpo durante

o vôo. Em contraste com as abelhas, os tripes geralmente entram no botão floral antes da abertura da flor, podendo, pois, afetar a autopolinização (Mackie & Smith, 1935). Park et al. (1996) observaram que todos os tripes encontrados dentro de botões florais estavam no estágio jovem, o que se traduz na possibilidade de que os ovos tenham sido colocados dentro da flor ou muito próximos dela.

Com base nessas informações, é possível concluir que o feijoeiro pode ser polinizado por diferentes espécies de insetos e que estudos mais aprofundados devem ser desenvolvidos para elucidar melhor esta questão, uma vez que a população de polinizadores associada com o cruzamento em feijoeiro ainda não foi completamente elucidada.

## Fluxo Gênico em Feijoeiro Comum

Apesar de o feijoeiro ser uma planta predominantemente autógama, taxas de polinização cruzada foram registradas em diversos trabalhos desenvolvidos em diferentes regiões, com uso de marcadores morfológicos, principalmente a cor das flores, do hipocótilo e dos grãos. Entre os trabalhos que reportaram as maiores taxas de polinização cruzada, Wells et al. (1988) observaram até 85% para um dos genótipos de feijoeiro avaliados na Califórnia (EUA). Em outro trabalho realizado na Califórnia, Ibarra-Perez et al. (1997) observaram que altas taxas de cruzamento em *P. vulgaris* podem ocorrer ocasionalmente, variando em função da cultivar avaliada, da população de insetos polinizadores e dos fatores ambientais, como o local, ano e época de cultivo (Ortega, 1974; Park et al., 1996). As cultivares observadas por Ibarra-Perez et al. (1997) com as maiores taxas de polinização cruzada foram as mesmas reportadas por Wells et al. (1988). O mesmo foi observado para as cultivares que apresentaram baixas taxas de cruzamento nos dois trabalhos citados. Ibarra-Perez et al., (1997) relacionaram, ainda, o fato de que as maiores taxas de cruzamento foram observadas nos experimentos realizados em Riverside, cuja área experimental ficava próxima a uma plantação de eucaliptos e a um jardim com flores de várias espécies de plantas, sendo, portanto, uma área com grandes atrativos para diferentes espécies de abelhas, que poderiam ser responsáveis pela polinização do feijoeiro.

Altas taxas de cruzamento natural em feijoeiro foram registradas também no Brasil por Antunes et al. (1973), que observaram valores de 6,0 a 10,0% no

município de Pelotas, RS. Estudos desenvolvidos por Barrons (1939) no Alabama (EUA) registraram de 2,63 a 8,26% de polinização cruzada em *P. vulgaris*, enquanto Pereira Filho & Cavariani (1984) observaram uma média de 1,0 % de hibridação natural em feijoeiro comum em Patos de Minas, MG.

A maioria dos trabalhos, no entanto, reportam taxas de cruzamento natural em feijoeiro bem menores do que estas. Entre os que registraram as menores taxas, Tucker & Harding (1975) observaram uma variação de 0 a 0,007% de polinização cruzada em experimentos realizados na Califórnia. No Brasil, Vieira (1960) obteve de 0,18 a 0,70% na região de Viçosa, MG, e Pacova & Rocha (1975) observaram valores entre 0,18 e 0,35% de hibridação natural em *P. vulgaris* na região de Linhares, ES.

Ferreira et al. (2005) estudaram o fluxo gênico da cultivar Diamante Negro para a cultivar BRS Talismã, em Coimbra, MG. Em média, os autores observaram maiores valores de polinização cruzada (0,135%) quando utilizaram menores espaçamentos, ou seja, mais próximo da cultivar fonte (até 1 m de distância). A partir da distância de 3,25 m da fonte, a taxa de cruzamento natural reduziu-se e estabilizou em 0,0045%. Esta foi a distância necessária de isolamento para evitar o fluxo gênico. A relação entre a taxa de cruzamento natural em *P. vulgaris* e o espaçamento entre linhas de plantio também foi avaliada por Antunes et al. (1973), que relacionaram as taxas mais baixas aos espaçamentos maiores. Estes resultados discordaram dos obtidos anteriormente por Alan & Moh (1966), em Alajuela (Costa Rica), que observaram taxas de 0,2 e 0,19% de cruzamento, respectivamente, para os espaçamentos de 50 e 100 cm entre linhas e 0,05% de cruzamento para o menor espaçamento, de 25 cm. Estes autores justificaram que o espaçamento de 25 cm reduziu a área de exposição dos parentais maternos à visitação dos insetos polinizadores, resultando em uma menor taxa de polinização cruzada. No Brasil, a recomendação oficial de isolamento de um campo de produção de sementes de feijoeiro é de 3 m, compatível com os dados experimentais (Vieira & Rava, 2000). Mesmo em ausência de estudos de biossegurança, esta distância poderia ser aumentada para 5 m, no caso do feijoeiro transgênico, evitando, inclusive, a possibilidade de mistura mecânica, como já recomendado para soja (Abud et al., 2003).

Alguns autores avaliaram o efeito de diferentes épocas de cultivo sobre a ocorrência de cruzamento natural em *P. vulgaris*. Ortega (1974) obteve médias maiores no cultivo da época das chuvas (0,49%), em comparação com a época

seca (0,22%), em cinco anos de plantio em Aragua (Venezuela). No Brasil, resultados semelhantes foram obtidos por Royer et al. (2002) em Maringá (PR), que estimaram valores médios entre 0,71 e 1,66% de polinização cruzada em *P. vulgaris* e registraram taxas maiores na época das chuvas (1,34% para a cultivar Pérola). Em Campinas (SP), Pompeu (1963) observou taxas de cruzamento semelhantes nas épocas da seca de 1959 (1,26%) e das chuvas de 1961 (1,33%), mesmo considerando que as condições climáticas fossem bem distintas nas duas épocas de semeio e pudessem interferir nas populações de insetos polinizadores. Brunner & Beaver (1989), em Isabela (Porto Rico), observaram taxas de cruzamento mais altas no plantio da época das chuvas (13,3%), em comparação com o plantio de dezembro (5,0%).

Outro tipo de marcadores utilizado para estimar a polinização cruzada em feijoeiro comum foram as proteínas das sementes, que permitiram a Ferreira et al. (2000) a seleção de um número relativamente alto de marcadores co-dominantes, possibilitando a identificação de todos os possíveis híbridos entre as cultivares. Este estudo, desenvolvido em Asturias (Espanha), estimou em 0,74% a média de polinização cruzada para as quatro cultivares de *P. vulgaris* avaliadas.

Em nenhum dos estudos relatados foi analisada a progênie em  $F_2$ , a fim de certificar-se de que realmente se tratava de polinização cruzada, excluindo qualquer possibilidade de mistura varietal. Mesmo assim, é possível concluir que a ocorrência de fluxo gênico no feijoeiro comum é um fenômeno pouco freqüente. Em situações isoladas, algumas cultivares apresentaram maior capacidade de hibridização do que outras, podendo apresentar taxas de cruzamento natural que destoam daquelas normalmente observadas. Os dados relativos à polinização cruzada entre cultivares de feijoeiro são relevantes para fins de melhoramento genético e para evitar a desuniformidade de cultivares em campos de produção de sementes. O fluxo gênico, visto como potencialmente perigoso para o ambiente, refere-se à hibridização entre os tipos cultivados e silvestres, que poderia reduzir a diversidade genética e, mais recentemente, aos riscos de escape de transgênes, originados de cultivares geneticamente modificadas.

O fluxo gênico entre tipos cultivados e silvestres de feijoeiro foi observado por alguns autores (Hoc et al., 2003; Gonzalez et al., 2005; Papa et al., 2005), tendo sido registrados níveis de três a quatro vezes maiores de fluxo do tipo cultivado para o selvagem, do que na direção oposta (Papa et al., 1998; Papa & Gepts, 2003).

Hoc et al. (2003) estudaram a origem do polimorfismo observado em populações de *P. vulgaris* var. *aborigineus*, nativas da Argentina, variedade considerada como o ancestral mais provável do feijoeiro comum e cuja ocorrência não foi registrada no Brasil. Concluíram que o dimorfismo floral observado em algumas plantas resultava da hibridação e introgessão entre a variedade *aborigineus* e cultivares primitivas. Após novos cruzamentos, estes autores observaram que a descendência dos indivíduos com dimorfismo floral apresentou características degenerativas na progénie híbrida, como, por exemplo: radícula recurvada com cotilédones que não emergiram; morte do ápice e consequente morte das plântulas. Relacionaram, então, a degeneração da progénie híbrida ao fluxo gênico indesejado, que poderia conduzir à redução da população silvestre na área. Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Papa & Gepts (2003), que também observaram o fluxo gênico em feijoeiro ocorrendo predominantemente no sentido da cultivar para o genótipo silvestre, sugerindo uma alta introgessão da população domesticada para a população silvestre (introgessão assimétrica). Segundo estes autores, isso ocorreu devido a vários fatores, como o maior tamanho das populações domesticadas, em comparação com as silvestres; as diferenças existentes entre os tipos de seleção nos ambientes cultivado e silvestre (Papa & Gepts, 2003) e também devido à facilidade de dispersão do pólen do tipo domesticado em comparação com o silvestre (Papa et al., 2005). Essa introgessão assimétrica pode reduzir a diversidade genética no tipo silvestre e, em casos extremos, poderia levar à extinção genética da população silvestre (Papa, 2005).

A redução da diversidade genética durante a domesticação das plantas, assim como após esta fase inicial e durante novas seleções, é uma das características importantes e gerais da dispersão das espécies a partir dos centros de origem (Gepts, 2004). O processo da domesticação consistiu em uma seleção para adaptação aos ambientes cultivados e às necessidades humanas, selecionando características como: ausência de sistemas de dispersão espacial ou temporal; tamanho das sementes e outros órgãos utilizados pelo homem para dispersão; arquitetura compacta da planta; ciclo de vida reduzido, com florescimento e maturação precoces e insensibilidade ao fotoperíodo (Papa, 2005). Espera-se, portanto, que a diversidade genética dentro de populações domesticadas seja menor do que nas populações silvestres. Este “gargalo” genético parece estar ligado principalmente às regiões do genoma onde se localizam os genes que controlam as características relacionadas à domesticação (Papa et al., 2005).

Em estudo conduzido por amostragem do genoma do feijoeiro, Papa et al. (2005), comparando populações do tipo silvestre e domesticado no México,

observaram diferenciação altamente significativa entre elas no que se refere aos genes envolvidos com a domesticação, em comparação com regiões genômicas distantes dos *loci* da domesticação, principalmente os genes de resistência a doenças. As características das populações silvestres são, em geral, total ou parcialmente dominantes em *P. vulgaris* (Koinange et al., 1996). De acordo com Papa et al. (2005), a geração de híbridos F<sub>1</sub> do cruzamento entre o tipo silvestre e o domesticado será fenotipicamente mais similar aos seus parentais silvestres do que aos domesticados, situação que pode levar a diferenças na pressão de seleção nos dois ambientes contrastantes (silvestre e domesticado).

De acordo com o observado, vários são os fatores que afetam a ocorrência de fluxo gênico em feijoeiro, principalmente a cultivar e as condições ambientais. Como no Brasil não há genótipos silvestres de feijoeiro, o risco da contaminação genética por fluxo gênico entre plantas de feijão transgênicas e essas variedades é inexistente. Mesmo assim, estudos de biossegurança estão sendo conduzidos para avaliar o risco da liberação no ambiente do feijoeiro geneticamente modificado para resistência ao mosaico dourado (linhagem M1-4), que contém também o gene bar, o qual confere resistência ao herbicida glifosinato de amônia. Esse marcador seletivo possibilita quantificar o fluxo gênico entre plantas transgênicas e não-transgênicas de uma mesma cultivar. Os resultados preliminares de dois anos de avaliações não sugerem a ocorrência de fluxo gênico entre a linhagem transgênica e seu parental, cultivar Olathe Pinto, quando avaliadas de 1 a 10 metros da fonte de pólen, apesar da coincidência entre os seus períodos de floração. Novos estudos estão sendo conduzidos para confirmação destes resultados.

Após esta revisão de literatura, pode-se concluir que: (a) a taxa de fluxo gênico em feijoeiro é altamente variável nos diferentes ambientes em que foi avaliada, sendo normalmente baixa devido às características florais da planta; (b) não há uma conclusão definitiva da presença e participação de polinizadores na cultura; (c) como o Brasil não é centro de origem do gênero *Phaseolus*, a ocorrência de escape gênico é de importância apenas na manutenção da pureza varietal; (d) de acordo com os artigos analisados, a presença de fluxo gênico é importante apenas a curta distância (cerca de 3,5 m) da fonte; (e) a recomendação oficial de isolamento de um campo de produção de sementes de feijoeiro é de 3 metros e pode ser aumentada para 5 metros, no caso de feijoeiro geneticamente modificado, para reforçar o grau de segurança contra possível escape gênico.

## Referências Bibliográficas

- ABUD, S.; SOUZA, P. I. M.; MOREIRA, C. T.; ANDRADE, S. R. M.; ULRICH, A. V.; VIANNA, G. R.; RECH, E. L.; ARAGÃO, F. J. L. Dispersão de pólen em soja transgênica na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 10, p. 1229-1235, out. 2003.
- ALAN, J. J.; MOH, C. C. Determinación del porcentaje de cruzamiento natural en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en Alajuela, Costa Rica. **Turrialba**, San Jose, v. 16, n. 2, p. 156-158, abr./jun. 1966.
- ANTUNES, I. F.; COSTA, J. G. C. da; OLIVEIRA, E. A. **Determinação da porcentagem de cruzamentos naturais em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no município de Pelotas, RS, Brasil**. Pelotas: IPEAS, 1973. 5 p. (IPEAS. Comunicado Técnico, 1).
- ARAGÃO, F. J. L.; VIANNA, G. R.; ALBINO, M. das M. C.; DIAS, B. B. A.; FARIA, J. C. Transgênico resistente a geminivirus. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, DF, v. 3, n. 19, p. 22-26, mar./abr. 2001.
- ARAGÃO, F. J. L; VIANNA, G. R.; RECH, E. L. Feijão transgênico: um produto da engenharia genética. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, DF, v. 1, n. 5, p. 46-49, mar./abr. 1998.
- BARBOSA, F. R.; QUINTELA, E. D.; BLEICHER, E.; DA SILVA P. H. S. da; ALENCAR, J. A. de; HAJI, F. N. P. **Manejo da mosca-branca na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) no nordeste do Brasil**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001. 12 p. (Embrapa Semi-Árido. Circular Técnica, 72).
- BARRONS, K. C. Natural crossing in beans at different degrees of isolation. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 36, p. 637-640, 1939.
- BLISS, F. A. Common bean. In: FEHR, W. R.; HADLEY, H. H. (Ed.). **Hybridization of crop plants**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 273-284.
- BORÉM, A.; SANTOS, F. R. **Biotecnologia simplificada**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002. 249 p.
- BRUNNER, B. R.; BEAVER, J. S. Estimation of outcrossing of the common bean in Puerto Rico. **Hortscience**, Alexandria, v. 24, n. 4, p. 669-671, Aug. 1989.

- COSTA, A. S. Whitefly-transmitted plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 14, p. 429-449, 1976.
- DALE, P. J.; CLARKE, B.; FONTES, E. M. G. Potential for the environmental impact of transgenic crops. **Nature Biotechnology**, New York, v. 20, n. 6, p. 567-574, Jun. 2002.
- DARWIN, C. R. Bees and fertilization of kidney beans. **Gardeners Chronicle**, Middx, v. 45, p. 725, 1857.
- DEBOUCK, D. G. Systematics and morphology. In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans: research for crop improvement**. Wallingford: CAB International; Cali: CIAT, 1991. p. 55-118.
- DEBOUCK, D. G. *Phaseolus* germplasm exploration. In: GEPTS, P. (Ed.). **Genetic resources of Phaseolus beans**. Dordrecht: Kluwer, 1988. p. 3-29.
- ELLSTRAND, N. C.; PRENTICE, H. C.; HANCOCK, J. F. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 30, p. 539-563, 1999.
- FAO. **Statistical databases**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 11 jan. 2005.
- FARIA, J. C. de. Doenças causadas por vírus. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do feijoeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 547-572.
- FERREIRA, J. L.; CARNEIRO, J. E. de S.; GOMES, A. L.; LANES, F. F. de; CECON, P. R.; NOGUEIRA, J. A. de M.; PEREIRA, W. A.; BORÉM, A. Escape gênico no feijoeiro comum. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISAS DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. v. 1, p. 429-432. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 182).
- FERREIRA, J. J.; ALVAREZ, E.; FUEYO, M. A.; ROCA, A.; GIRALDEZ, R. Determination of the outcrossing rate of *Phaseolus vulgaris* L. using seed protein markers. **Euphytica**, Wageningen, v. 113, n. 3, p. 259-263, 2000.
- FREE, J. B. The pollination of the beans *Phaseolus multiflorus* and *Phaseolus vulgaris* by honeybees. **Journal of Apicultural Research**, Wales, n. 5, p. 87-91, 1966.

GEPTS, P. Domestication as a long term selection experiment. **Plant Breeding Reviews**, Westport, v. 24, pt. 2, p. 1-44, 2004.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans: research for crop improvement**. Wallingford: CAB International; Cali: CIAT, 1991. p. 7-53.

GEPTS, P. L.; KMIECIK, K.; PEREIRA, P.; BLISS, F. A. Dissemination pathways of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae) deduced from phaseolin electrophoretic variability. I. The Americas. **Economic Botany**, New York, v. 42, n. 1, p. 73-85, Jan./Mar. 1988.

GONZALEZ, A.; WONG, A.; DELGADO-SALINAS, A.; PAPA, R.; GEPTS, P. Assessment of inter simple sequence repeat markers to differentiate sympatric wild and domesticated populations of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 2, p. 606-615, Mar./Apr. 2005.

HOC, P. S.; ESPERT, S. M.; DREWES, S. I.; BURGHARDT, A. D. Polimorfismo en *Phaseolus vulgaris* var. *aborigineus* (Fabaceae), evidencias que indican hibridación natural. **Revista de Biología Tropical**, San Jose, v. 51, n. 3, p. 725-736, sep./dic. 2003.

IBARRA-PEREZ, F. J.; EHDAIE, B.; WAINES, J. G. Estimation of outcrossing rate in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 1, p. 60-65, Jan./Feb. 1997.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops**: 2004. Manila: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, 2004. 12 p. (ISAAA. Briefs, 34).

KOINANGE, E. M. K.; SINGH, S. P.; GEPTS, P. Genetic control of the domestication syndrome in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 4, p. 1037-1039, July/Aug. 1996.

LIMA, L. H. C.; NÁVIA, D.; INGLIS, P. W.; OLIVEIRA, M. R. V. de. Survey of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotypes in Brazil using RAPD markers. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 23, n. 4, p. 781-785, Dec. 2000.

LIMA, L. H. C.; CAMPOS, L.; MORETZSOHN, M. C.; NÁVIA, D.; OLIVEIRA, M. R. V. de. Genetic diversity of *Bemisia tabaci* (Genn.) populations in Brazil revealed by RAPD markers. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 25, n. 2, p. 217-223, 2002.

LORENZI, H. (Coord.). **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional.** 4. ed. Nova Odessa: Plantarun, 1994. 336 p.

LOURENÇÂO, A. L.; NAGAI, H. Surtos populacionais de *Bemisia tabaci* no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 1, p. 53-59, 1994.

MACKIE, W. W.; SMITH, F. L. Evidence of field hybridization in beans. **Journal of the American Society of Agronomy**, Geneva, v. 27, p. 903-909, 1935.

MCGREGOR, S. E. **Insect pollination of cultivated crop plants.** Washington: USDA, 1976. p. 100-101. (Agriculture Handbook, 496).

MESSEGUER, J. Gene flow assessment in transgenic plants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, The Hague, v. 73, n. 3, p. 201-212, June 2003.

MESSEGUER, J.; FOGHER, C.; GUIDERDONI, E.; MARFÀ, V.; CATALÀ, M. M.; BALDI, G.; MELE, E. Field assessments of gene flow from transgenic to cultivated rice (*Oryza sativa* L.) using a herbicide resistance gene as tracer marker. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 103, n. 8, p. 1151-1159, Dec. 2001.

ORTEGA, S. V. Polinización cruzada natural de la caraota (*P. vulgaris* L.) en Venezuela. **Agronomía Tropical**, Maracay, v. 24, n. 1, p. 27-32, 1974.

PACOVA, B. E. V.; ROCHA, A. C. de M. Hibridação natural no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Linhares, Espírito Santo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 22, n. 120, p. 157-158, mar./abr. 1975.

PAPA, R. Gene flow and introgression between domesticated crops and their wild relatives. In: THE ROLE OF BIOTECHNOLOGY, 2005, Turin, Italy. p. 71-76. Disponível em: <<http://www.fao.org/biotech/docs/papa.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2005.

PAPA, R.; GEPTS, P. Asymmetry of gene flow and introgression geographical structure of molecular diversity in wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from Mesoamerica. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 106, n. 2, p. 239-250, Jan. 2003.

PAPA, R.; ACOSTA, J.; DELGADO-SALINAS, A.; GEPTS, P. A genome-wide analysis of differentiation between wild and domesticated *Phaseolus vulgaris* from Mesoamerica. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 111, n. 6, p. 1147-1158, Oct. 2005.

PAPA, R.; GALLEGOS, J.; SALINAS, A.; GEPTS, P. Gene flow between wild and cultivated *Phaseolus vulgaris* L. in Mexico: potential for gene escape from transgenic plants into wild population? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STATUS OF PLANT AND ANIMAL GENOME RESEARCH, 6., 1998, San Diego. **Abstracts...** New York: Scherago International, 1998.

PARK, S. J.; MICHAELS, T. E.; MYERS, J. R.; HUNT, D. W. A.; STEWART-WILLIAMS, K. Outcrossing rates of common beans grown in Ontario and Idaho. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 39, p. 90-91, Mar. 1996.

PEREIRA FILHO, I. A.; CAVARIANI, C. Taxa de hibridação natural do feijoeiro comum em Patos de Minas, Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 9, p. 1181-1183, set. 1984.

POMPEU, A. S. Polinização cruzada natural no feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 22, n. 5, p. 53-57, jan. 1963.

QUECINI, V. M.; VIEIRA, M. L. C. Plantas transgênicas. In: SERAFINI, L. A.; BARROS, N. M.; AZEVEDO, J. L. (Coord.). **Biotecnologia na agricultura e na agroindústria**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 279-331.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento do feijão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 90, p. 16-19, jun. 1982.

RIEGER, R.; MICHAELIS, A.; GREEN, M. M. **Glossary of genetics and cytogenetics: classical and molecular**. 4. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1976. 647 p.

ROYER, M. R.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TERADA, Y. Outcrossing in common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 1, p. 49-54, mar. 2002.

SANTANA, M. P.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B.; MORGADO, L. N. Abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes das flores do feijoeiro, *Phaseolus vulgaris* L., em Lavras e Ijaci, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1119-1127, nov./dez. 2002.

STEWART, C. N.; WHEATON, S. K. Urban myths and scientific factors about the biosafety of genetically modified (GM) crops. In: CRISPEELS, M. J.; SADAVA, D. E. (Ed.). **Plants, genes, and crop biotechnology**. 2. ed. Sudbury: Jones and Bartlett, 2003. p. 528-551.

- STOETZER, H. A. I. Natural cross-pollination in bean in Ethiopia. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Geneva, v. 27, p. 99-100, Mar. 1984.
- TAYLOR, W. H. Bees and flower fertilization. **New Zealand Journal of Agriculture**, Auckland, n. 18, p. 203, 1919.
- TUCKER, C. L.; HARDING, J. Outcrossing in common bean *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 100, n. 3, p. 283-285, May 1975.
- VIEIRA, C. Sobre a hibridação natural em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 11, n. 63, p. 103-107, jul./dez. 1960.
- VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C. A. Características botânicas e fisiológicas da semente. In: VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C. A. (Ed.). **Sementes de feijão**: produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p. 25-38.
- WEBSTER, B. D.; TUCKER, C. L.; LYNCH, S. P. A morphological study of the development of reproductive structures of *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 102, n. 5, p. 640-643, Sept. 1977.
- WELLS, W. C.; ISOM, W. H.; WAINES, J. G. Outcrossing rates of six common bean lines. **Crop Science**, Madison, v. 28, n. 1, p. 177-178, Jan./Feb. 1988.
- WOZNIAK, C. A. Gene flow assessment for plant-incorporated protectants by the Biopesticide and Pollution Prevention Division, U.S. EPA. In: SCIENTIFIC METHODS WORKSHOP: ECOLOGICAL AND AGRONOMIC CONSEQUENCES OF GENE FLOW FROM TRANSGENIC CROPS TO WILD RELATIVES, 2002, Columbus, Ohio. **Meeting abstracts...** Columbus: Ohio State University, 2002. p. 15.
- ZIMMERMANN, M. J. de O.; TEIXEIRA, M. G. Origem e evolução. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996. p. 57-70.