

JULIANO LINO FERREIRA

ANÁLISE DO FLUXO GÊNICO EM FEIJOEIRO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F383a
2004

Ferreira, Juliano Lino, 1980-
Análise do fluxo gênico em feijoeiro / Juliano Lino
Ferreira. – Viçosa : UFV, 2004.
viii, 33f. : il. ; 29cm.

Orientador: Alúzio Borém de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 28-33.

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Feijão - Cultivo -
Medidas de segurança. 3. Plantas transgênicas. I. Univer-
sidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 20.ed. 633.153

JULIANO LINO FERREIRA

ANÁLISE DO FLUXO GÊNICO EM FEIJOEIRO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

Aprovada: 10 de agosto de 2004.

Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro
(Conselheiro)

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Conselheiro)

Prof. Pedro Crescêncio Souza Carneiro

Pesquisador José Mauro Chagas

Prof. Alúzio Borém de Oliveira
(Orientador)

A Deus,
Aos meus pais
João Batista Ferreira e Francisca Borges Ferreira,
Aos meus irmãos
Leila Maria Ferreira e Samuel Lino Ferreira.

AGRADECIMENTO

A Deus, pelo auxílio de sempre em todos os momentos da minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Programa de Genética e Melhoramento, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À FAPEMIG, pela concessão de financiamento do projeto.

Ao professor Aluizio Borém, pela sua orientação e amizade.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pelo acompanhamento e pelas significativas sugestões.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pela sua disposição.

Ao funcionário Gilberto, pela sua ajuda.

Aos colegas do Programa do Feijão, José Ângelo, Alex, Lelisângela, Carlos Lázaro, Gilmar, Vanessa e Tiago, pelo companheirismo.

À bolsista de Iniciação Científica Fabiéli Fortunata Lanes, pela amizade.

Aos funcionários da Agronomia, pela grande ajuda.

Aos funcionários da Estação Experimental de Coimbra, Carlinhos, João, Sebastião, Fernando, por auxiliarem na condução do trabalho.

Aos colegas de curso, Welington, Fernanda, Maria Andréia, Milene, Isane, Cláudia, Tatiane, Giselda, Anésia, Mateus, Willian, Adésio, Welinson,

Tiago, Ana, Maurecilne, Pedro Ivo, Mauro, Héder, Luana, Lauro, Leandro, Luciano e Elisa, pela ajuda mútua e ótima convivência.

Aos colegas da UFV, Celso, Aldo, Márcio, Anailda, Roberto, Bruno, Uberlando, pelo convívio agradável.

Aos meus pais e meus irmãos, pela força e compreensão.

Aos meus amigos André Luis Gomes, Gilvan Ferreira da Silva, Welington Ronildo Clarindo, pelo estímulo, apoio e convívio agradável.

Aos meus companheiros de república, Takeshi Kamada, Getúlio e Plínio, pela grande força e pelo convívio.

Aos amigos da UFLA, reitor Nazareno Mendes; professor João Bosco dos Santos, professor Samuel Pereira, professor Eustáquio Souza Dias; laboratoristas Lamartine da Nóbrega Filho, Maria Aparecida Souza Dias e Margarida, pelo grande incentivo, durante a minha graduação e pelo apoio a minha iniciação na pesquisa.

Aos meus amigos da Escola Agrotécnica de Barbacena, em especial a Fábio Márcio Gaio de Souza, Clayton Emanuel da Veiga e Pablo Márcio de Oliveira e a funcionária Marisa.

Enfim, o meu reconhecimento e a minha gratidão a todos aqueles que, de alguma forma, auxiliaram na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

JULIANO LINO FERREIRA, filho de João Batista Ferreira e Francisca Borges Ferreira, nasceu em Lavras, Minas Gerais, no dia 20 de março de 1980.

Realizou o curso primário na Escola Municipal Francisco Sales e na Escola Estadual Dora Matarazzo, ambas em Lavras, e concluiu o curso Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Barbacena (EAFB), em Barbacena, MG.

Em agosto de 1998, ingressou na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, graduando-se em Engenharia Agrônômica em janeiro de 2003.

Em março de 2003, iniciou o curso de Mestrado em Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa (UFV), defendendo tese em 10 de agosto de 2004.

ÍNDICE

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Taxonomia	4
2.2. Taxa de alogamia.....	5
2.3. A origem do feijoeiro	6
2.4. Distribuição geográfica e dispersão	9
2.5. Biossegurança	10
2.6. Mistura genética.....	11
2.7. Fluxo gênico.....	14
2.8. Possíveis polinizadores do feijoeiro	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Material genético.....	17
3.2. Local de condução do experimento	17
3.3. Etapa 1 – Plantio simultâneo dos cultivares fonte e receptor de pólen..	18
3.4. Etapa 2 – Avaliação da taxa de fecundação cruzada	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5. CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

FERREIRA, Juliano Lino, M.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2004. **Análise do fluxo gênico em feijoeiro**. Orientador: Aluizio Borém. Conselheiros: José Eustáquio de Souza Carneiro e Paulo Roberto Cecon.

O objetivo deste trabalho foi investigar o fluxo gênico, estimado pela taxa de fecundação cruzada entre cultivares de feijão, pertencente ao pool gênico mesoamericano, por meio de um esquema especialmente delineado para esse fim. O experimento foi realizado em duas etapas. A primeira etapa foi a instalação simultânea no campo do cultivar fonte de pólen (Diamante Negro) de flor violeta e do receptor (Talismã) de flor branca. O cultivar fonte foi semeado no centro, e ao seu redor foi semeado, em quadrados concêntricos, o cultivar receptor de pólen. Na maturação foram amostradas fileiras de tamanho fixo em distâncias variadas da fonte; e, em cada direção, essas constituíram as fontes de sementes a serem plantadas na etapa seguinte do experimento. Na segunda etapa do experimento, foram semeadas as sementes amostradas na etapa anterior. No florescimento dessas plantas avaliou-se a porcentagem de fecundação cruzada no feijoeiro, por meio de verificação da cor da flor. As flores violetas indicam ocorrência de cruzamentos naturais. A maior frequência de híbridos naturais ocorreu à distância da fonte de 0,5 m (0,136%) e 1,0 m (0,11%). Essa frequência foi reduzida a praticamente 0% a 3,25 m da fonte.

ABSTRACT

FERREIRA, Juliano Lino, M.S., Universidade Federal de Viçosa, August, 2004.
Gene flow analysis in common bean. Adviser: Aluizio Borém. Committee members: José Eustáquio de Souza Carneiro and Paulo Roberto Cecon.

The objective of this work was to investigate gene flow, esteem for the rate of out crossed between varieties cultivated of beans, pertaining to gene pool Mesoamerican, by means of a project especially delineated for this purpose. The experiment was accomplished in two stages. The first stage was the simultaneous installation in the field of variety cultivated source of pollen (Diamante Negro) of violet flower and the receiver (Talismã) of white flower. The source was sown in the center and around they had been sown, in concentrical squares, the variety cultivated pollen receiver. In the maturation rows of fixed size had been sampled at varied distance of the source and in each direction, these had constituted the sources of seeds to be planted in the next stage to the experiment. In the second stage of the experiment, had been sown the sampled seeds of the previous stage, and in the flowering of these plants it was evaluated percentage of out crossed in the common bean by means of verification of the color of the flower. The violet flowers indicate occurrence of natural crossings. The biggest frequency of natural hybrids occurred at a distance of the source of 0.5 m (0.136%) and 1.0 m (0.11%). This frequency was reduced practically to 0% at 3.25 m of the source.

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa anual, predominantemente autógama, domesticada a mais de 7.000 anos em dois centros de origem: a Mesoamérica (México e América Central) e a região Andina. Acredita-se que o feijão, juntamente com o milho e a abóbora, começou como erva daninha no cultivo de mandioca e batata-doce na América Central. Durante milênios, os agricultores cultivavam misturas complexas de tipos de feijão como cerca viva contra seca, doenças e ataques de pragas. Esse processo produziu uma variabilidade genética quase ilimitada, com uma grande variedade de cores, textura e tamanho de grão, vindo ao encontro das condições de plantio e das preferências de sabor de diferentes regiões. Os diversos feijões são cultivados desde o nível do mar até mais de três mil metros de altitude, requerendo pouco ou nenhum tipo de fertilizante ou pesticida (SCHOONHOVEN; VOYSEST, 1991).

Além da sua importância na dieta do brasileiro, o feijão é um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social, em razão de ser cultivado em grandes áreas e utilizar muita mão-de-obra durante o ciclo da cultura (VIEIRA et al., 1999).

O feijão está mudando de status e de lugar, isto é, está deixando de ser uma cultura de subsistência para se transformar em uma cultura de alta tecnologia, com uso de irrigação, uso balanceado de insumos, colheita mecanizada etc.

Dependendo da região, o plantio é feito ao longo do ano, em três épocas. A primeira, também conhecida como safra das “águas”, ocorre de setembro a dezembro e concentra-se mais nos estados da Região Sul e Sudeste; a segunda safra ou safra da “seca”, abrange todos os estados brasileiros e ocorre de fevereiro a março; e a terceira safra, ou de “inverno”, concentra-se na região tropical e é realizada de maio a julho, dependendo do estado. Dessa forma, durante todo o ano, em alguma região do país sempre haverá produção de feijão, o que contribui para a estabilidade do abastecimento interno (YOKOYAMA, 2002).

Apesar do intenso debate sobre biossegurança dos organismos geneticamente modificados (OGMs), tanto segurança alimentar como segurança ambiental, durante um período de oito anos, entre 1996 e 2003, a área global com cultivos transgênicos aumentou 40 vezes, passando de 1,7 milhões de hectares, em 1996, para 67,7 milhões de hectares, em 2003, com uma proporção de aumento crescente dos países em desenvolvimento. Quase um terço (30%) dessa área global, de 67,7 milhões de hectares, foi plantado em países em desenvolvimento nos quais o crescimento persiste de forma intensa. É relevante destacar que, entre 2002 e 2003, o crescimento absoluto da área cultivada com variedades geneticamente modificadas (GMs) foi praticamente o mesmo em países em desenvolvimento e em nações industrializadas (JAMES, 2003). Esses dados mostram uma tendência de futuramente variedades GM ganharem cada vez mais espaço no mercado mundial. E para isso estão sendo desenvolvidas variedades transgênicas voltadas para características como por exemplo aumento da produtividade (NBIAP, 2004).

O impacto da biotecnologia na sociedade, hoje, ocorre de forma irreversível, já que o seu papel na agricultura sustentável é o de contribuir para o desenvolvimento de novas variedades melhoradas e mais produtivas, e que exibam resistência aos estresses ambientais e auxiliem na recuperação e manutenção do meio ambiente, diminuindo a necessidade de insumos agrícolas e de novas áreas agricultáveis; considerando-se, por exemplo, o cultivar de soja Roundup Ready. Além disso, a importância socioeconômica da biotecnologia pode ser ilustrada pelo valor associado ao seu mercado mundial, estimado em torno de 50 bilhões de dólares. Somente na agricultura, o

mercado potencial é de 30 bilhões de dólares. Os Estados Unidos dominam esse mercado, com o maior número de produtos geneticamente modificados, lançados comercialmente no mundo, além de possuírem grande quantidade de instituições com especialistas em pesquisa e desenvolvimento atuando nessa área, e de investirem maciçamente em biotecnologia.

A possibilidade de fluxo gênico de organismos geneticamente modificados (OGM) para espécies sexualmente compatíveis é uma questão fundamental na avaliação de risco ambiental, particularmente nas proximidades dos centros de origem e de diversidade das espécies cultivadas. A formação de híbridos entre plantas transgênicas e seus parentes silvestres é bem documentada. A probabilidade de fluxo gênico depende dos processos de reprodução da planta, dos mecanismos de dispersão de pólen e de sementes e do ambiente de liberação. Os seguintes procedimentos minimizam o fluxo gênico: o isolamento espacial ou temporal, em relação a espécies sexualmente compatíveis, a retirada de inflorescências das plantas, o uso de plantas macho estéril, o uso de bordaduras, os procedimentos adequados de descarte e o monitoramento pós-colheita.

Durante o processo de análise dos pedidos relativos à liberação de plantas transgênicas em condições de campo, as agências de regulamentação geralmente especificam distâncias de isolamento entre plantas da mesma espécie. Conseqüentemente, visando à manutenção da pureza das sementes, é importante determinar a distância máxima em que o fluxo gênico pode ocorrer de forma significativa (ABUD et al., 2003).

Neste trabalho, investigou-se o fluxo gênico na cultura do feijoeiro, estimado pela taxa de fecundação cruzada entre cultivares de feijão, pertencente ao “pool gênico” mesoamericano, por meio de um esquema especialmente delineado para esse fim.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Taxonomia

Do ponto de vista taxonômico, o feijão comum é o verdadeiro protótipo do gênero *Phaseolus*, tendo sido classificado por Linnaeus em 1753. A classificação botânica completa (OSPINA, 1981; VILHORDO et al., 1996) é dada a seguir:

Ordem: Rosales.

Família: Fabaceae.

Sub-Família: Faboideae.

Tribo: Phaseoleae.

Sub-tribo: Phaseolinae.

Gênero: *Phaseolus*.

Espécie: *Phaseolus vulgaris* L.

O gênero *Phaseolus* possui cerca de 55 espécies todas diplóides ($2n=2x= 22$), sendo seus cromossomos extremamente curtos quando comparados com os de outras espécies. Além, de *P. vulgaris*, são também cultivadas outras três espécies: a fava (*P. lunatus* var. *lunatus*), mais adaptada ao trópico úmido, o feijão Ayocote (*P. coccineus* L), que se adapta a climas médios – frescos e áreas úmidas, e o feijão tepari (*P. acutifolius* Gray var. *latifolius*), adaptado a áreas quentes e secas (VIEIRA et al., 1999).

Embora tenham importância comercial bem mais restrita que *P. vulgaris* L., essas espécies tornam-se importantes no melhoramento genético, como fontes de resistência a seca, pragas, doenças e outros estresses, a serem empregadas em cruzamentos interespecíficos com *P. vulgaris*. Nesse particular, *P. coccineus* é bastante próxima do feijoeiro comum e produz híbridos viáveis, enquanto *P. lunatus* parece ser a mais distante filogeneticamente (ZIMMERMANN; TEIXEIRA, 1996).

2.2. Taxa de alogamia

O feijão é espécie autógama, por causa da estrutura de sua flor, na qual os órgãos masculinos e femininos são bem protegidos pelas pétalas, e também porque os grãos de pólen começam a cair sobre o estigma antes da antese. WEINSTEN (1926) verificou que, em casa de vegetação, a polinização ocorre quase na ocasião da antese, dando-se a fertilização oito a nove horas depois. Entretanto, há registro de diferentes taxas de fecundação cruzada natural que atinge, às vezes, proporções que trazem conseqüências para os trabalhos de melhoramento e para manutenção da pureza genética dos cultivares.

Alguns trabalhos como os de VIEIRA (1960), POMPEU (1963), JUNQUEIRA NETTO; LASMAR FILHO (1971), PACOVA; ROCHA (1975) e PEREIRA FILHO; CAVARIANI (1984), em que se realizou plantio de cultivares em fileiras ou covas alternadas, têm demonstrado que a taxa de polinização cruzada natural é baixa, ficando entre 0,2 e 1,4%. Em determinadas condições de ambiente, entretanto, certos cultivares podem apresentar taxas mais elevadas de cruzamento natural: POMPEU (1963) obteve, em Pindorama, SP, até 6,0%, enquanto COSTA; ANTUNES (1975) obtiveram, em Pelotas, RS, até 10,6%.

Em estudo realizado para estimar a taxa de fecundação cruzada em uma população segregante, MARQUES JÚNIOR; RAMALHO (1995) efetuaram uma simulação com um sistema de parcelas com nove covas, sendo cada uma semeada com um dos nove cultivares avaliados no trabalho. Cada variedade sempre teve como vizinha todas as demais em igual número de vezes. O experimento foi instalado em três épocas de semeadura: fevereiro, julho e

outubro. Os autores constataram que a taxa de fecundação cruzada média foi de 1,39%; porém ela diferiu com a época de semeadura, sendo menor em julho. As diferenças observadas foram associadas com a frequência e visita de insetos polinizadores, principalmente mamangavas.

Os estudos sobre a alogamia na cultura do feijão, no exterior, acusaram resultados semelhantes aos do Brasil, com taxa de fecundações cruzadas naturais geralmente inferiores a 4%. Todavia, em condições específicas, podem ocorrer altas taxas de fecundação cruzada. Por exemplo, BRUNNER; BEAVER (1988) mencionam até 17,6% de fecundação cruzada, em Porto Rico, e WELLS et al. (1988) obtiveram, na Califórnia, EUA, até 85%.

O feijão Caupi (*Vigna unguiculata* L), que possui certo parentesco com o feijão comum, apresenta valores de taxa de fecundação cruzada da ordem de 0,8% (TEÓFILO et al., 1999).

A taxa de fecundação cruzada varia, de lugar para lugar, sofrendo influência das condições do meio, que, por sua vez, afetam a população e a atividade dos insetos. Essa taxa depende também dos cultivares semeados, ou seja, do tipo de suas flores e da maior ou menor coincidência dos seus períodos de floração. A distância de isolamento entre cultivares é de máxima importância quando se pretende manter-lhes a pureza. Segundo KERNICK (1961), para produção de sementes puras, recomenda-se, usualmente, na Grã-Bretanha, manter 45 m de isolamento entre cultivares; no Zaire, 60 m.

Conforme os padrões estabelecidos pela Comissão Estadual de Sementes e Mudanças (CESM) para produção de sementes básicas e certificadas no Estado de Minas Gerais, o isolamento mínimo exigido entre campos de sementes de diferentes cultivares é de 5 m (PETERNELLI; BORÉM, 1999).

2.3. A origem do feijoeiro

Após a “descoberta” das Américas pelos europeus, no século XV, o feijão foi levado ao Velho Mundo, onde se tornou tão familiar aos agricultores e botânicos que sua origem americana foi esquecida. DE CANDOLLE (1883), botânico ilustre do século passado, em seu tratado sobre a origem das plantas cultivadas, colocou o feijoeiro entre as espécies de origem desconhecidas.

A aceitação da origem americana do feijão ocorreu apenas no final do século XIX, com base principalmente em observações feitas através de amostras arqueológicas encontradas primeiramente no Peru e, posteriormente, no Sudoeste do Estados Unidos (FREITAS, 2001), o que vinha contradizer as teorias antes aceitas de uma origem Asiática, como proposto, por exemplo, por Linnaeus, em 1753 (GEPTS; DEBOUCK, 1991).

Atualmente existe um grande número de amostras arqueológicas de feijão encontradas desde o sudoeste dos EUA, passando pela América Central e continuando pela região Andina da América do Sul até o centro norte da Argentina e Chile, com idades que chegam até a 10.000 anos (GEPTS; DEBOUCK, 1991).

A totalidade desses achados arqueológicos possui duas características em comum: a primeira é que todas foram encontradas em regiões secas, tanto nos Andes como na América Central; e a outra é que todas foram restos de planta de feijão já totalmente domesticados, sem traços de características do ancestral selvagem. Como o feijão normalmente cresce em regiões mais úmidas, é provável que ele tenha sido domesticado em regiões com umidade maior, sendo depois introduzido nessas regiões mais secas, o que explicaria a ausência de material selvagem e de transição entre os restos arqueológicos, além de sugerir que essa espécie possa ter sido domesticada há mais que os 8.000-10.000 anos, atualmente considerados (FREITAS, 2001).

Somente a partir de meados do século XX, é que as populações de feijão selvagem começaram a ser descritas e estudadas, e três aspectos dessas populações selvagens são de particular relevância na discussão do processo de domesticação do feijoeiro: a) as características morfológicas dessas populações selvagens; b) onde se encontram, ou seja, qual é a distribuição geográfica dessas populações; e c) qual é a relação genética existente entre plantas selvagens e plantas domesticadas (GEPTS; DEBOUCK, 1991).

Formas silvestres de *P. vulgaris* têm sido encontradas apenas nas Américas e são consideradas ancestrais das atuais formas cultivadas. Uma faixa desde o norte da Argentina na Província San Luis até o Estado de Chihuahua, norte da México, compreende a área onde populações selvagens de feijão crescem atualmente, situadas em altitudes que vão de 500 a 2.000 m

acima do nível do mar, com precipitação variando entre 500 e 1.800mm de chuva. Não tem sido encontradas populações selvagens naturalmente em regiões do Brasil (VIEIRA et al., 1999). No México, as populações selvagens se encontram na parte centro-oeste do país, enquanto na América do Sul estão localizadas ao longo da parte leste da Cordilheira dos Andes (GEPTS et al., 1986).

Dessa maneira, populações selvagens estavam disponíveis naturalmente aos seres humanos primitivos em uma ampla área de distribuição geográfica e, portanto, havia a possibilidade de as mesmas serem domesticadas em diferentes regiões independentes (FREITAS, 2001).

As formas silvestres cruzam facilmente com as modernas variedades de *P. vulgaris*, produzindo gerações F₁ e F₂ férteis. Isso indica que as formas silvestres e cultivadas pertencem à mesma espécie e que entre elas não emergiu nenhum mecanismo reprodutivo que as isolassem. Na realidade, segundo GEPTS; DEBOUCK (1991), as diferenças genéticas entre as duas formas parecem afetar apenas uma pequena proporção de locos.

Dados mais recentes, com base em padrões eletroforéticos de faseolina, sugerem a existência de três centros primários de diversidade genética, tanto para espécies silvestres como cultivadas: o mesoamericano, que se estende desde o sudeste dos Estados Unidos até o Panamá, tendo como zonas principais o México e a Guatemala; o sul dos Andes, que abrange desde o norte do Peru até as províncias do noroeste da Argentina; e o norte dos Andes, que abrange desde a Colômbia e Venezuela até o norte do Peru. Além desses três centros americanos primários, podem ser identificados vários outros centros secundários em algumas regiões da Europa, Ásia e África, onde foram introduzidos genótipos americanos (ANDRADE; RAMALHO, 1999).

GEPTS (1984) apresentou evidências filológicas e históricas a favor da origem americana do feijão. As diversas línguas nativas das Américas possuem palavras específicas para designar o feijão. Nos Andes, por exemplo, os quáchuas e os aimarás utilizavam a palavra “purutu”, que deu origem a “poroto” no castelhano moderno da Argentina, do Uruguai, do Chile e da Bolívia. Textos espanhóis do século XVI fazem menção à presença do feijão nas Américas, e revelam que ele era desconhecido entre os europeus antes da descoberta do Novo Mundo.

2.4. Distribuição geográfica e dispersão

O feijão comum é atualmente cultivado em diferentes regiões tropicais, sub-tropicais e temperadas do planeta (SCHWARTZ et al., 1996), em praticamente todos os continentes. Após a domesticação, difundiu-se por diferentes regiões da América. Na Califórnia, foi introduzido por espanhóis vindos da América Central. Durante os séculos XVI e XVII, através de navegadores espanhóis e portugueses, alcançou também o Oeste da África e a Europa. À Ásia, via Filipinas, teria chegado em tempos anteriores (ANDRADE; RAMALHO, 1999).

No Brasil, possivelmente três rotas (GEPTS et al, 1988) foram responsáveis pela introdução do feijão. Os feijões mesoamericanos pequenos teriam vindo do México via Caribe, Colômbia e Venezuela. Feijões grandes com faseolina “T”, como o cultivar Jalo, teriam vindo dos Andes (Peru). Introduções mais recentes foram provenientes da Europa, trazidas por imigrantes.

A diferença geográfica na distribuição dos tipos de faseolina tornou possível acompanhar a disseminação de cultivares de feijão dos centros de domesticação para outras regiões do mundo (VIEIRA et al, 1999). Existem evidências de que houve troca de germoplasma entre o México e a América Central e os Andes. Naquele centro de domesticação, foram encontrados, em pequena proporção, cultivares de sementes graúdas e faseolina do tipo “T”. Por outro lado, nos Andes também ocorrem feijões com faseolina do tipo “S”, cuja proporção diminui no sentido norte-sul, da Colômbia ao Chile e à Argentina, ao passo que, com a frequência do tipo “T”, ocorre o inverso. No Chile, cultivares com faseolina do tipo “C” são os mais frequentes. No sudoeste dos EUA, área vizinha do México, predominam os cultivares com faseolina do tipo S que devem ter sido introduzidos nessa região por populações índia pré-colombianas, enquanto os cultivares com os tipos “T”, “C” provavelmente foram introduzidos por imigrantes e companhias de sementes da Europa, onde cultivares com esses tipos de faseolina são prevaletentes.

Na Europa Ocidental, é alta a frequência do tipo “T” de faseolina, cabendo duas possíveis explicações: os genótipos andinos adaptaram-se melhor ao clima mais frio e ao verão curto da Europa que os cultivares

mesoamericanos ou, então, a alta freqüência de “T” é proveniente da alta proporção de cultivares destinados à produção de vagens verdes, a maioria dos quais possui faseolina do tipo “T”. Em Portugal e Espanha, a freqüência do tipo “C” é alta, situação esta encontrada apenas no Chile. Isso parece indicar que ou muitos cultivares chilenos foram introduzidos nesses dois países ou, ao contrário, o Chile trouxe muitos cultivares provenientes desses países europeus. A maioria dos cultivares africanos possui o tipo “T” de faseolina. Eles podem ter sido introduzidos nos Andes através do Brasil. Uma explicação alternativa é a de que eles foram introduzidos na África pelas nações colonialistas da Europa, onde, conforme se comentou, predomina esse tipo de faseolina (VIEIRA et al., 1999).

2.5. Biossegurança

A possibilidade de um escape gênico resultar em um novo biótipo e este invadir e se estabelecer em um ecossistema é uma das maiores preocupações dos ecólogos. Essas possibilidades são, quando determinadas, específicas para cada situação, envolvendo os seguintes fatores: espécie, modificação genética, fatores bióticos e abióticos do habitat onde o escape ocorreu, modo de reprodução e densidade relativa do escape (BORÉM, 2001).

De acordo com BORÉM (2001), para estimação da probabilidade de estabelecimento de um organismo geneticamente modificado (OGM) em um ecossistema, os seguintes parâmetros devem ser considerados: i) menor tamanho de uma população viável e os atributos necessários para o estabelecimento e a dispersão dos invasores; e ii) por quanto tempo pode a população persistir no habitat sem a interferência humana.

Após mais de 15 anos de discussão, os ecólogos estão construindo novos padrões para avaliação dos riscos dos transgênicos ao meio ambiente (MOONEY; BERNADI, 1990, RISSLER; MELLON, 1993). Segundo a nova ótica, os estudos empíricos são muito simplistas e não consideram uma série de aspectos relevantes ao equilíbrio ecológico. Uma das possíveis justificativas para isso é que os OGM foram e estão sendo desenvolvidos com grande

velocidade, enquanto os experimentos ecológicos normalmente requerem longo período de avaliação.

CRAWLEY et al. (2001), trabalhando no Imperial College, Inglaterra, estudaram durante 10 anos a capacidade de invasão de quatro espécies: milho, batata, beterraba e canola, geneticamente modificadas. Foram incluídos os tipos de modificações genéticas disponíveis à época do início desse trabalho, em 1990: tolerância a herbicidas e resistência a pragas. Anualmente, durante 10 anos, indivíduos transgênicos e não-transgênicos foram monitorados para verificar sua capacidade de colonização e persistência em 12 diferentes ambientes. Aqueles autores concluíram que o tamanho das populações, tanto das variedades transgênicas quanto das não-transgênicas, declinou após o primeiro ano e que em nenhum caso as variedades transgênicas persistiram por tempo significativamente maior que o das suas congêneres convencionais.

A avaliação da biossegurança de um novo cultivar transgênico normalmente é realizada na região onde a variedade vai ser cultivada. Com a economia globalizada e o intercâmbio de variedades entre países, torna-se importante a análise dos riscos de plantio dessa variedade, aprovada em uma região, quando transferida para o seu centro de origem (BORÉM, 2001).

2.6. Mistura genética

O termo mistura genética é utilizado para denominar as misturas dos conjuntos gênicos por hibridação e introgressão. Antes, alguns autores (como BUTLER, 1994) definiam esse termo como poluição genética, mas atualmente está entrando em desuso, por ser carregado de conotação negativa, e não se pode afirmar que mistura genética sempre incorre em aspecto negativo.

É amplamente reconhecido que o intercâmbio de genes entre diferentes biótipos sempre foi parte integrante do processo evolucionário e que a formação de diferentes espécies ocorre em razão do isolamento reprodutivo imposto entre populações. Tem sido argumentado, inclusive, que a preservação do fluxo gênico está em oposição às forças da natureza. Objeções ao intercâmbio gênico como fenômeno não-natural têm sido taxadas de

doutrina e de não-ciência. É, entretanto, importante reconhecer que a engenharia genética representa um passo adicional, ao permitir que genes de espécies sexualmente incompatíveis sejam trocados entre si (GROVE-WRITE et al., 1997).

A mistura de populações tem três implicações de ordens ecológica e prática:

- A população nativa pode ser extinta.
- Os padrões de diversidade genética podem ser alterados.
- A evolução da população nativa pode ser afetada.

Muitos ecólogos têm argumentado sobre a importância da manutenção isolada (pura) do conjunto gênico de cada espécie. Um dos princípios que tem orientado muitos estudiosos nesse sentido é que o conjunto gênico de uma espécie é patrimônio da humanidade e não do país onde ela ocorre. Os conjuntos gênicos contêm, na sua estrutura, evidências evolucionárias que transcendem as fronteiras do país onde ocorrem e, portanto, pertencem à humanidade (BORÉM, 2001).

As populações e suas estruturas genéticas são entidades dinâmicas. O processo do fluxo gênico, o isolamento genético, a deriva genética, a seleção e a mutação estão continuamente agindo e modificando a biodiversidade das populações, quer estejam elas sob o manejo do homem, que estejam isoladas na natureza. No longo prazo, é praticamente impossível manter, de forma estática, a variabilidade genética presente nas populações (BORÉM, 2001).

Segundo BORÉM (2001), o receio dos ecólogos é de que o fluxo gênico ocorra entre uma variedade transgênica e uma população de uma espécie silvestre aparentada, de forma que os genes dos transgênicos sejam transferidos para a população silvestre, conferindo-lhe vantagem competitiva, que, eventualmente, resulte na extinção da população nativa original. Alternativamente, os genes transferidos poderiam se dispersar em toda a população e produzir um tipo intermediário entre a espécie cultivada e a silvestre.

O fluxo gênico entre diferentes espécies ou gêneros não é um fenômeno tão incomum quanto inicialmente haviam pensado. STACE (1975) reportou a hibridação interespecífica em sete gêneros da Inglaterra (Tabela 1). Enquanto

a hibridação interespecífica é comum em alguns gêneros, ela é rara em outros, conforme relatado por esse autor.

A grande maioria dos autores tem enfatizado a necessidade da quebra de uma série de barreiras de isolamento reprodutivo para que a mistura dos conjuntos gênicos se estabeleça. O fluxo gênico de uma espécie cultivada para um parente silvestre com o qual ela pode se cruzar provavelmente se dê por causa da dispersão de pólen, uma vez que o estabelecimento pelo movimento de sementes depende de barreiras ou etapas adicionais, como germinação, desenvolvimento, florescimento e formação de novas sementes viáveis (BORÉM, 2001).

Tabela 1 – Frequência de hibridação em sete gêneros na Inglaterra

Gênero	Número de espécie	Número de híbridos interespecíficos	Número de híbridos intergenéricos
<i>Salix</i>	23	123	0
<i>Rumex</i>	23	42	0
<i>Geranium</i>	17	7	0
<i>Plantago</i>	5	2	0
<i>Dactylorhiza</i>	7	27	22
<i>Trifolium</i>	21	2	0
<i>Lolium</i>	3	3	10

Fonte: STACE (1975); ELLSTRAND et al. (1996).

O homem tem alterado os rumos evolutivos de muitas espécies, especialmente daquelas que foram domesticadas (BAKER, 1972). Alguns autores (a exemplo de BROWN, 1992), argumentaram que seria difícil encontrar uma espécie que não tivesse sido alvo de seleção, de forma direta ou indireta. Na agricultura primitiva, a distinção entre populações naturais e aquelas plantadas não era evidente. Nessa situação, os indivíduos silvestres e os cultivados são semelhantes e, portanto, a oportunidade de fluxo gênico deve

ter sido parte integrante do processo de co-evolução dessas espécies. RENNO et al. (1997) relataram que as formas silvestres e as cultivadas de milho tenham trocado genes entre si nos últimos 3.000 anos.

Durante a domesticação das espécies, algumas divergiram profundamente dos seus ancestrais como resultado da seleção dirigida pelo homem. Em geral, essa seleção torna as espécies mais úteis ao homem, porém com menor habilidade de sobrevivência em competição ou em ambientes silvestres (RAAMSDONK, 1995).

2.7. Fluxo gênico

O fluxo gênico é a troca da informação genética entre indivíduos, populações ou espécies. Em plantas, no sentido amplo, o fluxo gênico pode-se estabelecer pelo movimento de pólen ou sementes. Na realidade, o fluxo gênico é uma medida de fertilização, no caso de pólen, ou estabelecimento de indivíduos férteis, no caso de sementes, em razão da distância percorrida da fonte até o local onde a dispersão ocorre (BORÉM, 2001).

No campo da genética de populações, a denominação fluxo gênico é usada especificamente para se referir ao movimento entre grupos que resultam em um intercâmbio genético (HEDRICK, 2000). O fluxo gênico é uma importante força evolutiva. Altos níveis de fluxo gênico entre grupos ou populações resultam em homogeneização de grupos que, geneticamente, se tornam parecidos. Baixos níveis de fluxo gênico juntamente com a seleção levam a diferenciação. A importância evolucionária do fluxo gênico está sob debate, já que é difícil se estimar o fluxo gênico (ELLSTRAND et al., 1999).

No melhoramento de plantas, a visão que se tem do fluxo gênico é de mistura genética. Intercâmbio genético é importante para produtores que guardam suas próprias sementes para plantarem na safra seguinte. É também importante para melhorista de plantas quando seu germoplasma é não-intencionalmente misturado com transgênico. Mistura e fluxo gênico são processos separados que têm similar implicação. Por exemplo, a mistura de sementes de variedades GM e convencional resulta em uma população geneticamente impura, mas não resultará em fluxo gênico, a menos que ocorra

intercâmbio de genes entre os indivíduos das duas variedades. Assim, é possível em uma espécie com 100% de autogamia ocorrer mistura varietal sem fluxo gênico. Dessa forma, o fluxo gênico sempre resulta em mistura genética, mas nem sempre mistura mecânica resulta em fluxo gênico. No caso de produtores que compram suas sementes todo ano, para plantá-las na safra seguinte, o fluxo gênico e a mistura varietal tendem a não ser um problema importante.

Escape gênico, ou mais especificamente o movimento de transgenes que resultarão no intercâmbio genético, ocorre por um dos dois mecanismos: dispersão de semente e movimento de pólen.

Os tipos comuns de eventos de dispersão ocorrem por espalhamento pré ou pós-colheita e mecanismos similares que resultam em transferência direta de sementes ao meio ambiente ou eventos de mistura mecânica decorrentes de sementes que permanecem nos implementos agrícolas e nas unidades de beneficiamento de sementes.

A transferência horizontal é a transferência não-sexual de material genético de um organismo para o outro (NRC, 2002).

Transferência horizontal parece ser importante na escala evolucionária (MCFADDEN, 2001), mas provavelmente não o é na escala de tempo do melhorista.

O movimento de pólen carregando transgenes pode resultar em intercâmbio genético, se o pólen estiver viável, o estigma estiver receptivo e os dois forem sexualmente compatíveis.

Para que um transgene seja disperso por pólen, o doador e o receptor deste devem compartilhar o mesmo habitat, florescerem na mesma época e serem sexualmente compatíveis. Para que a dispersão tenha impacto evolucionário, o embrião do híbrido deve ser capaz de produzir uma planta híbrida que tenha habilidade para se reproduzir sexual ou assexuadamente.

2.8. Possíveis polinizadores do feijoeiro

As mamangavas (*Xylocopa* spp.) são abelhas de porte avantajado que apresentam importante papel polinizador em diversas espécies vegetais, sejam

elas silvestres como a castanheira-do-Pará (*Bertholletia excelsa* Humb & Bompl.) ou cultivadas como o maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) (CORBET; WILLMER, 1980).

Essas abelhas nidificam escavando galerias em troncos de árvores mortas, galhos ou qualquer tecido vegetal já relativamente seco (CAMILLO; GARÓFALO, 1982). Algumas espécies também podem nidificar em tecidos vegetais vivos (HURD, 1978).

O gênero *Xylocopa* abrange mais de 700 espécies e apresenta distribuição cosmopolita com maior diversidade nas regiões tropicais e subtropicais do Novo e Velho Mundo (HURD; MOURE, 1963; HURD, 1978). Cerca de 200 espécies são descritas do Novo Mundo (HURD; MOURE, 1963), sendo 50 do Brasil (HURD 1978).

Entre os animais, os da Classe Insecta ocupam lugar de destaque no processo de polinização, sendo na ordem Hymenoptera que se encontra o maior número deles. Desses insetos são as abelhas as mais importantes polinizadoras disponíveis na natureza. Algumas culturas dependem delas a ponto de não produzirem economicamente na sua ausência. Essa dependência é grande nas plantas cultivadas e, entre essas culturas, as leguminosas são consideradas um grande recurso alimentar para as abelhas, fornecendo néctar e pólen (SANTANA et al., 2002).

No interior, na base do cálice, encontra-se o nectário onde é secretado o néctar. As abelhas podem causar a fecundação cruzada do feijoeiro. Esse fato pode ser benéfico, se avaliamos considerando que aumentará a produção de sementes e reduzirá o aborto de vagens. Mas, por outro lado, podem ocorrer misturas, o que geralmente não é desejado pelo melhorista (SANTANA et al., 2002).

Várias espécies de Apoidea das famílias Apidae, Colletidae, Megachilidae e Anthophoridae são encontradas visitando leguminosas. Entre as Apidae, *Trigona spinipes* foi observado espécie realizando perfurações no tubo corolar das flores, demonstrando o comportamento especializado da Hymenoptera na busca de pólen e néctar nas flores (CURE et al., 1993).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material genético

O caráter utilizado para esse estudo foi a cor da flor, já que é uma característica monogênica, sendo a cor violeta (B_) dominante sobre a branca (bb) (VIEIRA, 1960).

Os cultivares escolhidos foram o Diamante Negro, de flor violeta e o Talismã de flor branca. O cultivar receptor de pólen (doravante denominado **receptor**) foi o Talismã, utilizado para estimar o fluxo gênico a partir do cultivar de feijão preto Diamante Negro (doravante denominado **fonte**). Esses dois cultivares apresentam ciclos semelhantes e mesmo padrão de florescimento, já que ambos têm hábito de crescimento tipo III. A identificação e o nível de pureza genética da fonte e do receptor foram assegurados já que as duas cultivares eram provenientes de campo de produção de sementes.

3.2. Local de condução do experimento

Este estudo foi realizado na Estação Experimental de Coimbra – MG, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, localizada

geograficamente na Zona da Mata de Minas Gerais, a 690 m de altitude, 20° 45' S de latitude e 42°51' W de longitude.

Antes de o experimento ser implantado, verificou-se o histórico da área, tendo sido constatado que a cultura anterior era o milho. O experimento foi conduzido em duas etapas. A primeira, envolveu o plantio simultâneo dos cultivares fonte e receptor de pólen, realizada em janeiro de 2004. Na segunda etapa, avaliou-se a taxa de fecundação cruzada, utilizando-se plantas oriundas do cultivar receptor (talismã), na safra de inverno de 2004 (semeadura em abril).

3.3. Etapa 1 – Plantio simultâneo dos cultivares fonte e receptor de pólen

Como o fluxo gênico foi estimado pela taxa de fecundação cruzada para diferentes distâncias, foi extremamente importante assegurar que não ocorresse mistura mecânica de sementes, especialmente na primeira fileira adjacente à fonte. Por ocasião do plantio, tomou-se o máximo de cuidado, evitando-se possíveis contaminações ou mistura varietal.

Após a emergência das plantas, estacas de identificação foram utilizadas para demarcar os limites entre as variedades. Especialmente durante o florescimento, o trânsito de máquinas e pessoas no campo foi limitado, para evitar a introdução de uma possível fonte de variação não-controlada. Realizou-se na época do pré-florescimento uma operação de “roguing”.

Na maturação, foram coletadas amostras das plantas receptoras, amostrando-se a 1^a, 2^a, 4^a, 6^a, 8^a, 10^a, 12^a, 14^a, 16^a, 18^a, 20^a, 22^a, 24^a, 26^a, 28^a, 30^a, 32^a, 34^a e 36^a fileiras, a partir da fileira adjacente à fonte. O tamanho da fileira da parcela que foi coletada foi fixo em todas as distâncias (Figura 1). Assim, de cada distância analisada, que funcionou como tratamento, foi coletada uma fileira de 7,5 m, suficiente para fornecer a quantidade mínima de 1.800 sementes a serem semeadas para estimação da taxa de fecundação cruzada. O número de sementes amostrado (n) foi estimado pela seguinte fórmula (RAMALHO et al., 2000): $n = \lceil \frac{\log(1-P)}{\log(1-p)} \rceil$, sendo n = número de sementes da amostra; P = probabilidade de o evento não ocorrer devido ao acaso; e p= taxa de fecundação cruzada (em decimal).

A taxa de fecundação cruzada predominante em feijoeiro, relatada na literatura, varia de 0,2 a 1,4% entre fileiras adjacentes. Entretanto, optou-se por trabalhar com a probabilidade de ocorrência do evento menor, para que fosse possível detectar a fecundação cruzada a maiores distâncias. Neste trabalho, utilizou-se, para efeito de cálculo do tamanho efetivo de cada parcela, a taxa de polinização cruzada (probabilidade p) de 0,2% e o nível de probabilidade P de 95%. Dessa forma, o tamanho efetivo da parcela para análise da taxa de fecundação cruzada, utilizando a fórmula citada anteriormente, foi de 1.500 plantas.

As plantas do cultivar receptor (Talismã) foram colhidas em quatro secções (direções) distintas, representando as quatro repetições. Dessa forma, cada tratamento (distância da receptora a fonte) foi amostrado nas seguintes direções: Norte (N), Sul (S), Leste (L) e Oeste (O). As plantas foram cuidadosamente trilhadas e suas sementes vistoriadas com o objetivo de identificar possíveis misturas, o que foi avaliado pela presença de feijões de grão de cor preta.

Conforme esquema utilizado (Figura 1), pode-se observar que o experimento foi implantado em quadrados concêntricos, cujo primeiro quadrado foi de 0,5 m de lado e o último de 43,5 m. A fonte ficou compreendida externamente por uma faixa de 7,5 m de lado. Já o primeiro quadrado da variedade receptora apresentou uma dimensão de 8,5 m de lado. O espaçamento utilizado foi de 50 cm entre fileiras, de modo que a 36^a fileira localiza-se a 18 m da fonte.

A área central do experimento (Figura 1), representada pela cor roxa, corresponde ao cultivar de flor violeta (fonte) e a área externa de cor verde-clara corresponde às fileiras do cultivar receptor (flor branca). Observa-se, na Figura 2, a fonte (flor violeta) e a fileira receptora limítrofe (flor branca).

A análise estatística utilizada foi a regressão linear platô, obtida com o auxílio do aplicativo SAEG. Utilizou-se esse tipo de análise, pois a distribuição dos dados no começo decresce linearmente com o aumento da distância e atinge um platô que continua ao longo das distâncias.

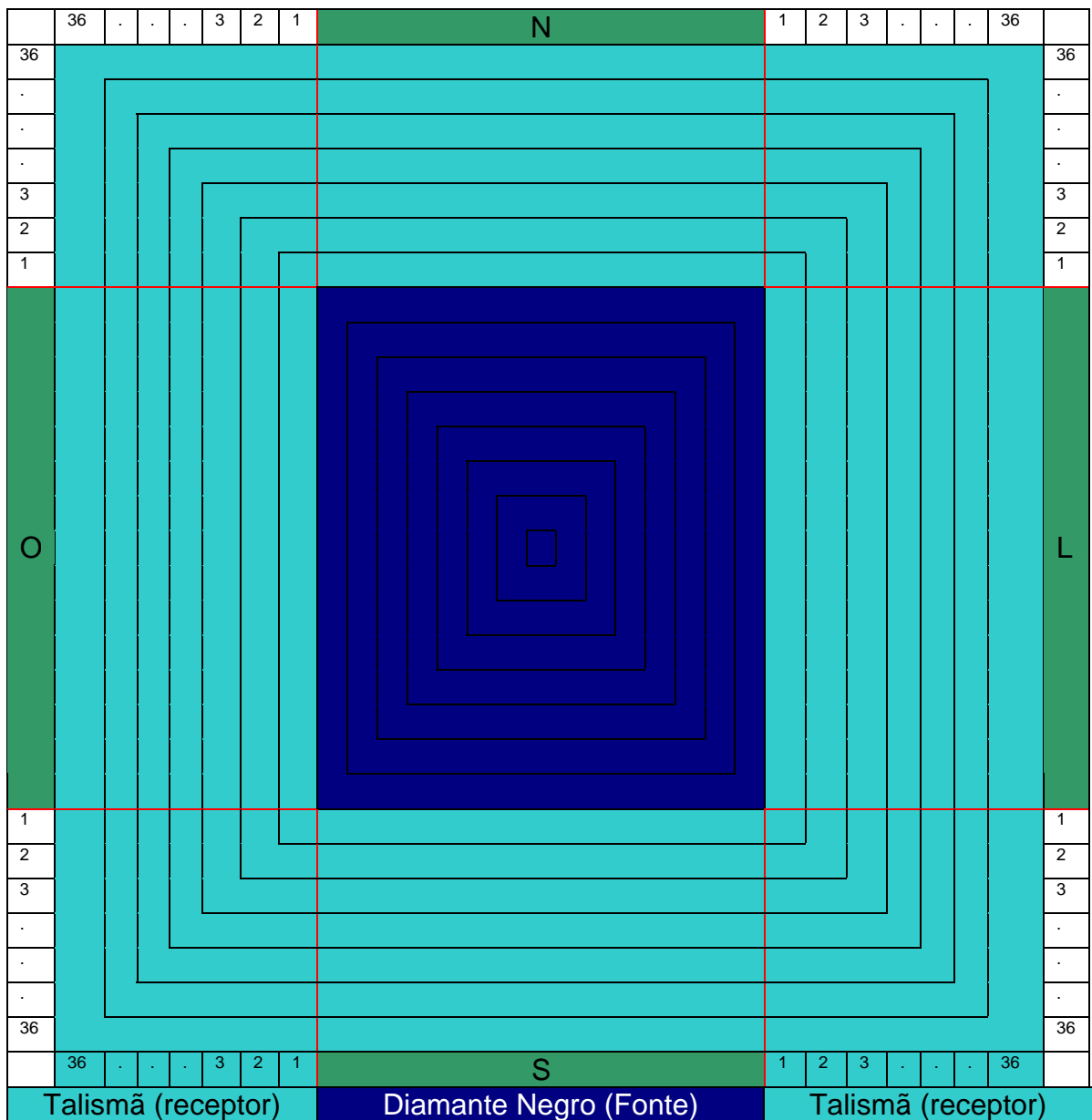


Figura 1 – Esquema do desenho experimental utilizado neste estudo (fora de escala). As amostras foram coletadas em cada direção, dentro da faixa central que no desenho está limitada por linhas vermelhas.



Figura 2 – Fileira limítrofe entre a variedade fonte e o receptor.

3.4. Etapa 2 – Avaliação da taxa de fecundação cruzada

Essa etapa constituiu a segunda parte deste trabalho no qual objetivou-se determinar a taxa de fecundação cruzada que porventura ocorresse.

De cada amostra tomada em plantas receptoras na etapa anterior, conforme Figura 1, foram semeadas 1.800 sementes em 100 m de sulco, ocupando uma área total de 4.000 m².

O número total de plantas por parcela (amostras) foi determinado logo após a emergência das plantas, o que seria impraticável na época do florescimento, dado o tamanho das plantas.

Por ocasião do florescimento, as parcelas foram cuidadosamente percorridas e identificadas as plantas fruto de cruzamentos naturais, no caso de flores de cor violeta. Desse modo, a taxa de fecundação cruzada foi calculada, levando-se em consideração o número de plantas de flor violeta em relação ao número total de plantas de cada parcela, representando as diferentes distâncias e direções.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa do experimento ocorreu coincidência de florescimento dos cultivares fonte e o receptor. Esse fato é imprescindível, para estudos dessa natureza.

O florescimento ocorreu a partir de meados de fevereiro e, nessa fase, foram feitas visitas semanais, constatando-se a presença de diversas espécies de abelha e mamangava. Uma mamangava visitando o experimento pode ser vista na Figura 3. É mostrada na Figura 4 uma vista da primeira etapa do experimento.

É importante salientar que este experimento foi realizado na safra das águas e que dependendo da época de cultivo ocorre maior ou menor população de insetos polinizadores, podendo isso afetar diretamente o valor da taxa de polinização cruzada. Em Viçosa, Minas Gerais, VIEIRA (1960) trabalhou com o feijoeiro comum e obteve 0,18% e 0,70% de híbridos naturais nos plantios das secas e das águas, respectivamente. Já PACOVA; ROCHA (1975) encontraram, no Espírito Santo, 0,18% na seca e 0,35% nas águas. Outro estudo realizado por POMPEU (1963) encontrou taxa de cruzamento natural para o feijoeiro na ordem de 1,26% e 1,33% na cultura da seca e das águas, respectivamente.

Durante a fase do florescimento, na primeira etapa do experimento, não foi aplicado nenhum inseticida, o que poderia reduzir drasticamente populações de insetos, especialmente os polinizadores.



Figura 3 – Mamangava visitando o experimento.



Figura 4 – Vista parcial do experimento.

A segunda etapa do trabalho, ou seja, identificação das plantas oriundas de cruzamentos naturais (flor violeta), foi realizada na época do florescimento por meio de visitas diárias por um período aproximado de três semanas.

O número de eventos de fecundação cruzada é apresentado na Tabela 2. Esses dados em porcentagem são também visualizados na Figura 5. Essa Figura mostra a dispersão das taxas de fecundação cruzada em função das distâncias, ocorrendo uma dispersão para cada uma das repetições (direções). Observa-se uma coerência dos dados nas diferentes repetições.

O resultado da regressão linear platô é apresentado na Figura 6, onde são mostrados a equação de regressão e o valor do platô. A equação de regressão foi ajustada, utilizando-se as médias das quatro repetições.

Considerando os resultados obtidos (Figura 6), observa-se que a partir da distância de 3,25 m, a porcentagem de fecundação cruzada é praticamente zero, sendo o valor desse platô 0,0045%. Esses resultados estão de acordo com a determinação da Companhia de Sementes e Mudanças de Minas Gerais (VIEIRA et al., 1999), que estabelece a distância de 5,0 m para isolamento entre campos de produção de sementes de feijão.

Em média, houve maior taxa de fecundação cruzada nas plantas que se localizaram mais próximo da fonte, mais especificamente até 1,0 m de distância.

O resultado obtido neste trabalho foi similar aos encontrados por ABUD et al. (2003), em estudo sobre a dispersão do pólen transgênico em soja. Nesse estudo, a maior frequência de disseminação de pólen foi obtida na fileira mais próxima da fonte, reduzindo drasticamente esse valor a partir da terceira fileira (1,5 m da fonte).

A maioria dos resultados sobre estudos de fecundação cruzada no feijoeiro refere-se apenas à fileira limítrofe da fonte, ou seja, a 0,5 m de distância com taxas de fecundação cruzada em torno de 1% (PETERNELLI; BORÉM, 1999).

Neste trabalho, que é representativo da safra das águas, foram observadas taxas de fecundação cruzada inferiores a 0,14%.

Tabela 2 – Valores de fecundação cruzada encontrado no experimento segundo a distância da parcela da fonte

Distância (metros)	Número de eventos de fecundação cruzada			
	Sul	Norte	Leste	Oeste
0,5	3 (1622)*	1 (1568)	4 (1708)	1 (1719)
1	3 (1600)	1 (1629)	0 (1560)	3 (1522)
2	0 (1638)	1 (1606)	0 (1607)	0 (1695)
3	1 (1696)	1 (1652)	0 (1653)	0 (1600)
4	0 (1600)	0 (1564)	0 (1718)	0 (1591)
5	0 (1628)	1 (1608)	0 (1612)	0 (1560)
6	0 (1588)	0 (1565)	0 (1601)	0 (1529)
7	0 (1581)	0 (1683)	0 (1648)	0 (1511)
8	0 (1547)	0 (1605)	0 (1503)	0 (1574)
9	0 (1652)	0 (1712)	0 (1541)	0 (1600)
10	1 (1591)	0 (1708)	0 (1690)	0 (1621)
11	0 (1570)	0 (1685)	0 (1523)	0 (1621)
12	0 (1500)	0 (1616)	0 (1603)	0 (1598)
13	0 (1540)	0 (1726)	0 (1621)	0 (1572)
14	0 (1565)	0 (1679)	0 (1501)	0 (1579)
15	0 (1524)	0 (1685)	0 (1537)	0 (1512)
16	0 (1486)	0 (1640)	0 (1705)	0 (1578)
17	0 (1525)	0 (1502)	0 (1580)	0 (1510)
18	0 (1600)	0 (1580)	0 (1620)	0 (1506)

Valores entre parênteses referem-se ao estande da parcela (número total de plantas avaliadas).

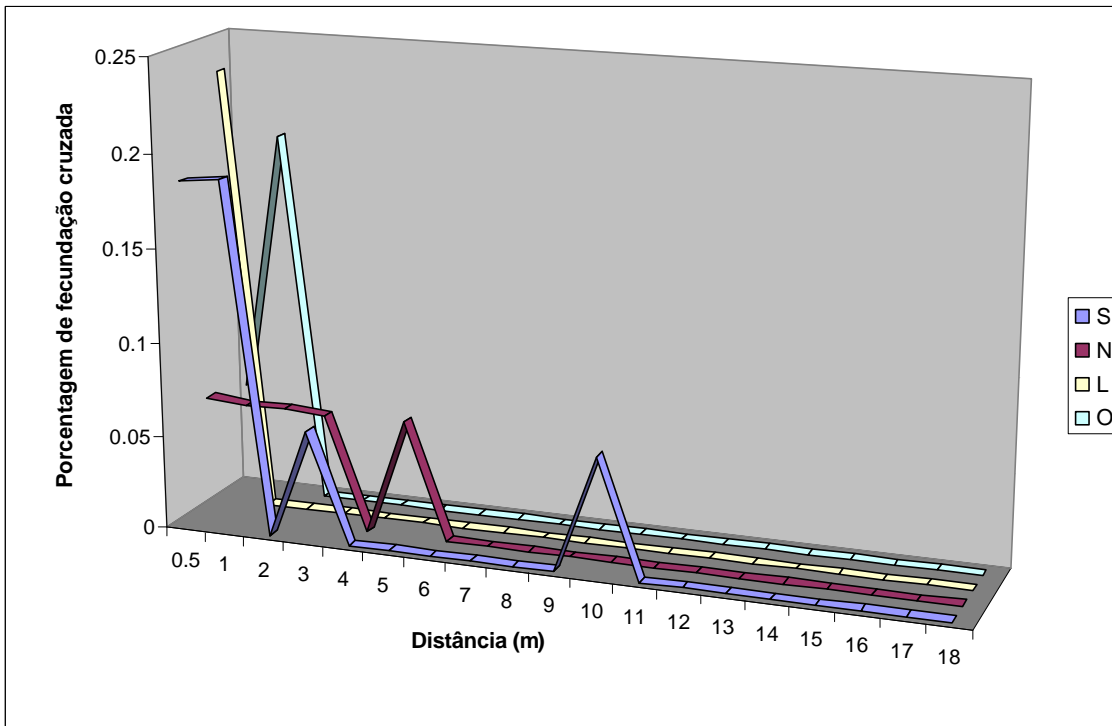


Figura 5 – Distribuição da taxa de polinização cruzada em porcentagem em função das distâncias e da direção: (sul – S; norte – N, leste – L, oeste – O).

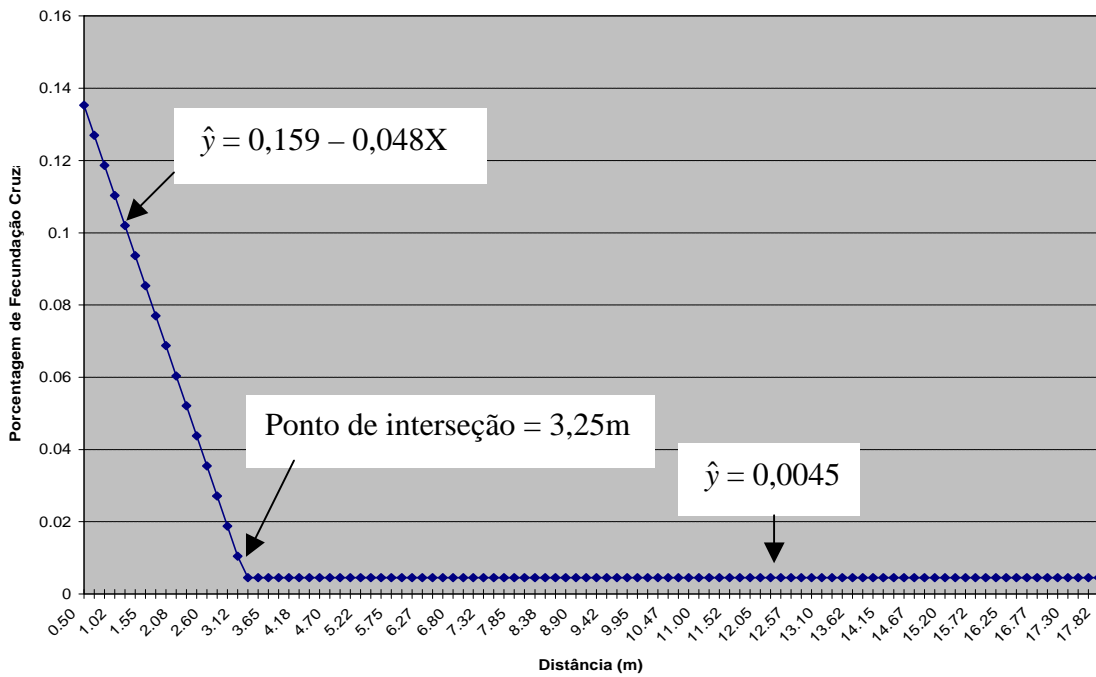


Figura 6 – Regressão linear platô para a porcentagem de fecundação cruzada em função da distância.

5. CONCLUSÕES

A análise dos dados e interpretação dos resultados do presente trabalho permitiram concluir que:

- A taxa de fecundação cruzada no feijoeiro é baixa, ou seja inferior a 1%.
- A taxa de fecundação cruzada é maior nas fileiras próximo da fonte, caindo drasticamente até distância de 3,25 m e a partir daí a taxa se estabiliza em 0,0045%.
- À distância de 3,25 m da fonte foi suficiente para manter o isolamento reprodutivo entre os cultivares de feijoeiro estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUD, S.; SOUZA, P. I. M.; MOREIRA, C. T.; ANDRADE, S. R. M.; ULBRICH, A. V.; VIANNA, G. R.; RECH, W. L.; ARAGÃO, F. J. L. Dispersão de pólen em soja transgênica na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 8 p., 2003.

ANDRADE, M.J.B.; RAMALHO, M.A.P. **A cultura do feijoeiro-comum no curso de Agronomia**. Lavras, MG. Editora UFLA. 79 p., 1999.

BAKER, H. G. Human influences on plant evolution. **Economic Botany** 26: p.32-43, 1972.

BORÉM, A. **Escape gênico e transgênicos**. Visconde do Rio Branco, MG. Editora Suprema: 206 p., 2001.

BROWN, A. H. D. Human impact on plant gene pools and sampling for their conservation. **Oikos** v.63, p.109-118, 1992.

BRUNNER, B.R.; BEAVER, J. S. Estimation of outcrossing of dry beans in Puerto Rico. **Annual Reporter of Bean Improvement Cooperative**, v.31:p.42-43, 1988.

BUTLER, D. Bid to protect wolves from genetic pollution. **Nature** v.370: p.497, 1994.

CAMILLO, E.; GARÓFALO, C.A. On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Olivier) and *Xylocopa grisescens* (Lepeletier) in southern Brazil. I. Nest construction and biological cycle. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v.42, p.571-582, 1982.

CORBET, S.A.; WILLMER, P.G. Pollination of the yellow passion fruit: nectar, pollen and carpenter bees. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.95, p.655-666, 1980.

COSTA, J. G. C.; ANTUNES, I. F. Determinação da porcentagem de cruzamentos naturais em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no município de Pelotas, RS. In: Reunião Anual da SBPC, 27^a, Belo Horizonte. **Resumos...**, p.252, 1975.

CRAWLEY, M. J.; BROWN, S.L.; HAILS, R.S.; KOHN, D.D.; REES, M. Biotechnology: transgenic crops in natural habitats. **Nature** v.409: p.682-683, 2001.

CURE, J. R.; BASTO, G. S.; OLIVEIRA, M. J. F.; SILVEIRA, F. A. Levantamento de abelhas silvestres na Zona da Mata de Minas Gerais. I – Pastagem na região de Viçosa (Himenóptera: Apoideae). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 40, n. 228, p.131–161, 1993.

DE CANDOLLE, A. **Origine des plantes cultivées**. Paris: Librairie Germer Baillière et C.^{ie}. 377p., 1883.

ELLSTRAND, N. C.; WHITKUS, R.; RIESEBERG, L. H. Distribution of spontaneous plant hybrids. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA v.93: p.5090-5093, 1996.

ELLSTRAND, N.C.; PRENTICE. H.C.; HANCOCK, J. F. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 30, p.539-563, 1999.

FREITAS, F. O. **Estudo genético – evolutivo de amostras modernas e arqueológicas de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2001. 124p. (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2001.

GEPTS, P. **Nutritional and evolutionary implications of phaseolin seed protein variability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)**. (PhD. thesis). Madison: University of Wisconsin, 209p, 1984.

GEPTS, P.; OSBORN, T. C.; RASHKA, K.; BLISS, F. A. Phaseolin-protein variability in wild forms of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): evidence for multiple centers of domestication. **Economic Botany**, v. 40, p.451-468, 1986.

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

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

GROVE-WRITE, R.; MACNAGHTEN, P.; MAYER, S.; WYNNE, B. **Uncertain world genetically modified organisms, food and public attitudes in Britain**. University of Lancaster Press. 108 p., 1997.

HEDRICK, P. W. **The genetics of populations**. Jones and Bartlett Publ., Sudbury, MA., 2000.

HURD, P. D. JR.; J. S. MOURE. A classification of the large carpenter bees (Xylocopini) (Hymenoptera: Apoidea). **University of California Publications in Entomology**, v.29, p.361-365, 1963.

HURD, P. D. **An annotated catalog of the carpenter bees (genus *Xylocopa* Latr.) of the Western Hemisphere (Hymenoptera, Anthophoridae)**. Smithsonian Institution Press, Washington D. C., 116p., 1978.

JAMES, C. **ISAAA Briefs: Situação Global de Cultivos Transgênicos Comercializados: 2003**. n.30. ISAAA: Ithaca, NY, 2003.

JUNQUEIRA NETTO, A.; LASMAR FILHO, J. Taxa de alogamia do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em Lavras, Minas Gerais. **Agros**, v.1: p.19-21, 1971.

KERNICK, M. D. Seed production of specific crops. In: FAO (ed.). **Agricultural and Horticultural seeds**. p.181-516. (FAO Agric. Studies number 55), 1961.

MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M.A.P. Determinação da taxa de fecundação cruzada do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) nas diferentes épocas de semeadura em Lavras. **Ciência e Prática**. Lavras, v.19, n.3: p.339-341, 1995.

MOONEY, H. A.; BERNADI, G. **Introduction of Genetically Modified Organisms into the Environment**. New York: John Wiley and Sons Press. 204p., 1990.

MCFADDEN, G. I. Chloroplast origin and integration. **Plant Physiology**. v.125, p.50-53, 2001.

NBIAP, 2004. Information System for Biotechnology. Field Test Releases in the U.S., Virginia, USA. Disponível em: www.nbiap.vt.edu/cfdocs/fieldtests3.cfm. Acesso em 10 de maio de 2004.

NRC (National Research Council). **Environmental effects of transgenic plants: The scope and adequacy of regulation**. Washington, D.C.: National Academy Press, 2002.

OSPINA, O. H. F. **Morfologia de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: Ciat, 2 ed., 50p., 1981.

PACOVA, B. E. V.; ROCHA, A. C. M. Hibridação natural no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Linhares, Espírito Santo. **Revista Ceres**, v.22: p.157-158, 1975.

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

PETERNELLI, L. A.; BORÉM, A. Hibridação em feijoeiro. In: Borém, A. 1999 (ed.). **Hibridação artificial de plantas**. Viçosa, MG. Editora UFV: p.269-294, 1999.

POMPEU, A. S. Polinização cruzada natural no feijoeiro. **Bragantia**, v.22: p.53-57, 1963.

RAMALHO, M. A. P., SANTOS, J. B., PINTO, C.A.B.P. **Genética na Agropecuária**, Lavras – MG. Editora UFLA. 472p., 2000.

RAAMSDONK, L. W. D. The effect of domestication on plant evolution. **Acta Botanica Neerlandica**, v.44, p.421-438, 1995.

RENNO, J. F.; WINKEL, T.; BONNEFOUS, F.; BEZAN CON, G. Experimental study of gene flow between wild and cultivated *Pennisetum glaucum*. **Canadian Journal of Botany**, v.75, p.925-931, 1997.

RISSLER, J.; MELLON, M. Perils Amidst the Promise: Ecological Risk of Transgenic Crops in a Global Market. Cambridge: **Union of Concerned Scientists Press**, 141p., 1993.

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**, v.26, n.6., p.1119-1127, 2002.

SCHOONHOVEN, A. V.; VOYSEST, O. **Common beans**: research for crop improvement. Cali: Ciat; CAB International, 980p., 1991.

SCHWARTZ, H.F.; BRICK, M.A.; NULAND, D.S.; FRANC, G.D. (eds.). **Dry bean production and pest management**. Fort Collins: Cooperative Extension Resource Center, 106p., 1996.

STACE, C. A. **Hybridification and the flora of the British Isles**. Londres: Academic Press, 95p, 1975.

TEÓFILO, M. E., MAMEDE, F. B. F., SOMBRA, N. S. Híbridaç o natural em feijão caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, n.4: p.1010-1011, 1999.

VIEIRA, C. Sobre a híbridaç o natural em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Ceres**, v.11: p.103-107, 1960.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: Borém, A. (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG. Editora UFV: p.271-349, 1999.

VILHORDO, B. W.; MIKUSINSKI, O. M. F.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H. Morfologia. In: Araújo, R. S.; Rava, C. A.; Stone, L. F.; Zimmermann, M. J. O. (eds.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, p.71-99, 1996.

WEINSTEN, A. I. Cytological studies on *Phaseolus vulgaris*. **American Journal of Botanic**, v.13, p.248-263, 1926.

WELLS, W. C., ISOM, W.H.; WAINES, J. G. Outcrossing rates of six common bean lines. **Crop Science**. v.28, p.177-178, 1988.

YOKOYAMA, L. P. O feijão no Brasil no período de 1984/85 a 1999/00: Aspectos conjunturais. **Anais do VII Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão**. p.654-657, 2002.

ZIMMERMANN, M. J. O.; TEIXEIRA, M. G. Origem e evolução. In: Araújo, R. S.; Rava, C. A.; Stone, L. F.; Zimmermann, M. J. O. (eds.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, 1996.