

SÉRGIO TOSHIO OTUBO

**CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA DO FEIJOEIRO
(*Phaseolus vulgaris* L.) À BAIXAS TEMPERATURAS NA
FASE DE GERMINAÇÃO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura de Lavras, como parte das exigências do
Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentra-
ção em Genética e Melhoramento de Plantas, para
obtenção do título de «Mestre».

Orientador:

Prof. MAGNO ANTONIO PATTO RAMALHO

CDD-633.6323

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

1994

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da ESAL

Otubo, Sérgio Toshio.

Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à baixas temperaturas na fase de germinação / Sérgio Toshio Otubo. -- Lavras : ESAL, 1994.

50 p. : il.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Bibliografia.

1. Feijão - Baixas temperaturas - Tolerância. 2. Feijão - Controle genético. 3. Feijão - Germinação - Tolerância à baixas temperaturas. 4. Feijão - Melhoramento genético. I. Escola Superior de Agricultura de Lavras. II. Título.

CDD-635.6523

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

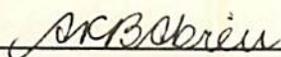
1994

SÉRGIO TOSHIO OTUBO

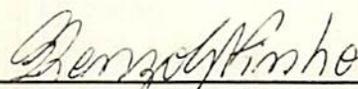
CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) À BAIXAS TEMPERATURAS NA FASE DE GERMINAÇÃO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

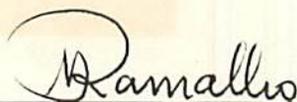
APROVADA em 01 de agosto de 1994



Pesq. Ângela de Fátima Barbosa Abreu



Pesq. Renzo Garcia Von Pinho



Prof. Magno Antonio Patto Ramalho
(Orientador)

À Deus.

Aos meus pais Minoru e Masumi.

Aos meus irmãos Mauro, Márcia, Jorge e Roberto.

Aos meus sobrinhos.

Aos demais familiares.

Aos amigos.

DEDICO

BIOGRAFIA DO AUTOR

Sérgio Toshio Otubo, filho de Minoru Otubo e Masumi Otubo, nasceu em Três Lagoas - MS, no dia 18 de março de 1963.

Concluiu o curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT Cuiabá - MT em março de 1986

Em junho de 1986, foi contratado pelo Departamento de Inspeção e Defesa Agropecuária de Mato Grosso do Sul - IAGRO.

Em setembro de 1987 foi contratado pela Empresa de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural de Mato Grosso do Sul - EMPAER.

Em março de 1992, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramento de Plantas, na Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL(MG), concluindo-o em agosto de 1994.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

À Empresa de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural de Mato Grosso do Sul - EMPAER, pela oportunidade e apoio oferecidos para a realização deste curso.

À Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, pela oportunidade concedida.

Ao professor Magno Antonio Patto Ramalho, pela valiosa orientação, incentivo, amizade e confiança demonstrados durante o curso.

À pesquisadora Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pela amizade, participação e valiosas sugestões apresentadas para a melhoria deste trabalho.

Ao pesquisador Renzo Garcia Von Pinho, pela participação e valiosas sugestões apresentadas.

Aos professores do curso César Augusto Brasil Pereira Pinto e João Bosco dos Santos, pela amizade, disponibilidade e ensinamentos transmitidos.

Aos demais professores, pela amizade e ensinamentos transmitidos.

Aos amigos pesquisadores da EMPAER, pelo incentivo.

Aos amigos do curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Benedita, Elaine, Daniel, Dehon, Joaquim, Marcelo Tavares, Maria Rosa, Elias, Valéria, Marcelo, Eduardo, Otoniel, Guilherme, Luciana, Márcio, Leonardo Rosse, José Sérgio, Oswaldo, Paulo Martins, Erich, Farias, Paulo, João Acássio, Vilma, Giovana, Patrícia, Leonardo, Luciane, Renata, Ângela, Hélia, Maurício, André e demais colegas pelo convívio e amizade.

À Benedita Maria Rodrigues, pelos importantes momentos vividos durante a realização do curso.

Aos amigos Eduardo Bearzoti e Márcio Henrique, pelas valiosas contribuições nas análises estatísticas.

Aos amigos, Giovana, Alcides, Magno e Carla, pelos momentos compartilhados.

Aos amigos de outros cursos de pós-graduação, pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Biologia, pelos auxílios prestados.

Aos funcionários da Biblioteca da ESAL, pelo atendimento e correção das referências bibliográficas.

À todos aqueles que, de algum modo, contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	VIII
SUMMARY	X
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Tolerância do feijoeiro à baixas temperaturas durante a germinação e emergência	3
2.2 Emprego do dialelo no estudo do controle genético	8
2.3 Previsão do potencial de cruzamentos através de parâmetros genéticos de média e variância	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Material utilizado	16
3.2 Obtenção das sementes F ₂ para os experimentos	17
3.3 Condução do experimento de avaliação da tolerância à baixa temperatura na germinação	18
3.4 Obtenção das estimativas e análise de variância dos dados	19
3.5 Previsão do potencial das populações na obtenção de linhagens superiores	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1	Relação das cultivares de feijão utilizadas para o cruzamento dialelo e algumas características agronômicas 17
2	Esquema da análise de variância da porcentagem de germinação final e do índice de velocidade de germinação 21
3	Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação (IVG) e da porcentagem de germinação final (PGF), em temperatura de 12°C, em condições de laboratório. ESAL - Lavras, MG, 1993 29
4	Resultados médios da porcentagem de germinação, após 42 dias, na temperatura de 12°C, obtidos na avaliação da geração F ₂ do cruzamento dialelo. ESAL - Lavras, MG, 1993 30
5	Resultados médios do índice de velocidade de germinação na temperatura de 12°C, obtidos na avaliação da geração F ₂ do cruzamento dialelo. ESAL - Lavras, MG, 1993 32
6	Resumo da análise de variância para o índice de velocidade de germinação (IVG) e porcentagem de germinação final (PGF) do cruzamento dialelo. ESAL - Lavras, MG, 1993 35
7	Capacidade específica e geral de combinação para a característica porcentagem de germinação final, da geração F ₂ do cruzamento dialelo. ESAL - Lavras, MG, 1993 36
8	Estimativas da capacidade geral de combinação do índice de velocidade de germinação na temperatura de 12°C. ESAL - Lavras, MG, 1993 37
9	Variâncias fenotípicas dos parentais e da geração F ₂ (na diagonal e acima, respectivamente) e genéticas da geração F ₂ (abaixo da diagonal) para o índice de velocidade de germinação. ESAL - Lavras, MG, 1993 40
10	Estimativas da probabilidade, em porcentagem (%) de obtenção de linhagens superiores ao parental com maior velocidade de germinação, na geração F _∞ . ESAL - Lavras, MG, 1993 41

RESUMO

OTUBO, Sérgio Toshio. **Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à baixas temperaturas na fase de germinação**. Lavras: ESAL, 1994. 50p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)*.

Para um maior sucesso do cultivo do feijão irrigado no Sul de Minas Gerais, no outono-inverno, torna-se necessária a obtenção de cultivares que apresentem tolerância à baixa temperatura na fase de germinação e emergência e com padrões de qualidade de grãos exigidos pelo mercado consumidor. Para isso, 10 materiais, incluindo cultivares introduzidas e linhagens do programa de melhoramento da ESAL, foram submetidas a um cruzamento dialélico. Foi estimado o índice de velocidade de germinação da geração F_2 dos cruzamentos realizados, em condições de laboratório à temperatura de 12°C. A análise dialélica foi realizada de acordo com o método IV de Griffing (1956) e a previsão do potencial de cada cruzamento em gerar linhagens superiores para o caráter em questão foi feita segundo metodologia proposta por Jinks e Pooni (1976). Constatou-se que os parentais diferiram quanto a velocidade de germinação em baixa temperatura, destacando-se como mais tolerantes as

* Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho. Membros da Banca: Ângela de Fátima Barbosa Abreu e Renzo Garcia Von Pinho.

cultivares Small White, A-488 e Rio Vermelho, e como mais sensíveis a 'Carioca', 'ESAL 609' e 'ESAL 591'. Verificou-se que esses parentais com maior valor para o índice de velocidade de germinação foram, também, os que apresentaram menores porcentagens de germinação. Não foi observado efeito dos cruzamentos recíprocos, tanto para a porcentagem de germinação, quanto para o índice de velocidade de germinação. Para ambos os caracteres a ação gênica aditiva foi a predominante e ficou evidenciado a possibilidade de se obter linhagens mais tolerantes que as existentes, o que mostra ser bem promissor o melhoramento para esse caráter. Na escolha de parentais para hibridação, visando obter menores valores do índice de velocidade de germinação, as principais opções são as cultivares A-488, Small White e Rio Vermelho.

SUMMARY

GENETICAL CONTROL OF THE TOLERANCE OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) TO LOW TEMPERATURES OVER THE GERMINATION PHASE.

For an increased success of the irrigated bean in Southern Minas Gerais, it is necessary to obtain cultivars which present tolerance to the low temperature over the germination and emergence phase and with quality standards demanded by the consuming market. Therefore, 10 materials, including introduced cultivars and ESAL's breeding program lines, were subjected to a diallel cross. Germination speed rate of the F_2 of the performed crosses was evaluated, in laboratory conditions at the temperature of 12°C. Diallelic analysis was accomplished, by utilizing Griffing's method IV (1956) and prediction of the cross potential was carried out through the methodology developed by Jinks and Pooni (1976). It was found that the parents differed as to germination speed at low temperature, standing out as the most tolerant, the cultivars Small White, A-488 and Rio Vermelho and as the most sensitive 'Carioca', 'ESAL 609' and 'ESAL 591'. Effect of the reciprocal crosses was not observed, both for germination percentage and germination speed rate and for both traits, additive genic action was predominant and became clear the possibility to obtain lines more tolerant to the low temperature. In choosing parents for hybridization, intending to obtain decreased values of germination speed rate, the main options are the cultivars A-488, Small White and Rio Vermelho.

1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente o cultivo do feijão no Sul de Minas Gerais tem sido realizado em duas épocas distintas: a primeira corresponde a semeadura realizada entre janeiro a março - "feijão da seca" e a segunda com semeadura de outubro a novembro - "feijão das águas". Entretanto, com o incremento da utilização da irrigação, principalmente após a década de 80, tem ocorrido um aumento no interesse na semeadura do feijão durante o período de inverno. Nesta época a semeadura fica restrita apenas ao período correspondente à segunda quinzena de julho e início de agosto, pois antes deste período a chance de sucesso da cultura é pequena devido a maior probabilidade de ocorrência de geadas, causando severos danos especialmente nas plântulas jovens. Se a semeadura for postergada para a segunda quinzena de agosto, por exemplo, quando as temperaturas já são mais altas, a probabilidade da colheita coincidir com precipitações intensas também é grande, aumentando a chance de perdas na colheita e depreciando o produto. Mesmo quando a semeadura é realizada na época recomendada, as temperaturas ainda são baixas, nesse caso ainda há atraso na germinação e emergência e, este fato, contribui para uma maior demanda de água para a irrigação, acarretando um aumento no custo de produção para o agricultor. Conseqüentemente, ocorre aumento no ciclo da cultura, aumentando as chances de perdas na colheita pelas razões já apresentadas.

A principal alternativa nesse caso, quando a semeadura é realizada em julho, é utilizar cultivares tolerantes à baixa temperatura nas fases de germinação e emergência. Entretanto, a cultivar Carioca, que é a mais semeada na região, é muito sensível a essa condição. Sendo assim, é necessário identificar cultivares que sejam mais tolerantes. Essa possibilidade já foi relatada na literatura em algumas oportunidades (Dickson, 1971; Kooistra, 1971; Bannerot, 1979; Hardwick e Andrews, 1980; Dickson e Boettger, 1984; Scully e Waines, 1987), porém, no Brasil, as informações são escassas. Entretanto, em trabalho pioneiro, realizado por Von Pinho et al. (1991), nas condições do Sul de Minas Gerais, constatou-se que existe variabilidade para este caráter nas cultivares disponíveis.

Assim, para um maior sucesso do cultivo do feijão nesta terceira época, torna-se necessária a obtenção de cultivares que apresentem tolerância à baixa temperatura nas fases de germinação e emergência e com padrões de qualidade de grãos exigidos pelo mercado consumidor.

Considerando que, na seleção de linhagens tolerantes à baixa temperatura nas fases de germinação e emergência é necessária uma escolha criteriosa dos parentais envolvidos nas hibridações e informações sobre o controle genético do caráter, foi realizado um cruzamento dialelo com a finalidade de obter informações sobre os possíveis parentais a serem utilizados em programas de melhoramento e sobre o controle genético desta característica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tolerância do feijoeiro à baixas temperaturas durante a germinação e emergência

A enorme diversidade de formas selvagens e espécies relacionadas que são encontradas nas Américas leva a crer que o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) originou-se nesse continente numa área extensa de quase 7.000 km, que se estende desde o México até a Argentina (Debouck e Tohme, 1989), sendo que ao longo desta faixa observam-se diferenças morfológicas que possivelmente refletem a adaptação do feijoeiro silvestre às condições contrastantes do ambiente em que se encontra.

A domesticação do feijão ocorreu, provavelmente, em 3 centros diferentes: o primeiro corresponde a América Central, cujas temperaturas são mais elevadas, onde foram domesticados feijões de sementes pequenas; o segundo ao Sul dos Andes (Peru e Argentina), em condições de temperaturas mais baixas, onde foram domesticados feijões de sementes grandes e; o terceiro, de menor importância, ao Norte dos Andes, em condições de temperaturas mais baixas, região em que também foram domesticados feijões de sementes pequenas (Singh, 1989).

O feijoeiro comum, conforme o modelo de domesticação, pode ser cultivado em uma amplitude muito grande de condições climáticas, evidenciando com isso que deve existir variabilidade genética para a tolerância do feijoeiro à baixas temperaturas.

Temperaturas baixas e constantes na fase de germinação são prejudiciais ao estabelecimento inicial das plântulas, com reflexo no estande, pois em temperaturas constantes e abaixo de 11°C, o feijão pode até conseguir germinar através do rompimento da radícula no tegumento da semente mas, devido ao ataque de fungos, geralmente não consegue emergir no solo e as sementes podem apodrecer (Kotowski, 1926; Dickson, 1971; Kooistra, 1971).

São vários os efeitos de temperaturas baixas sobre sementes e plântulas. Os principais efeitos, dentre outros, são: redução na germinação (Vieira, 1967; Dickson, 1971; Kooistra, 1971; Scully e Waines, 1987), redução na taxa de crescimento de plântulas (Kooistra, 1971; Hardwick, 1972; Dickson e Boettger, 1984; Dobben, Ast e Corré, 1984) e aumento da suscetibilidade a doenças fúngicas (Kooistra, 1971; Wolk e Herner, 1982; Herner, 1986)

Existem vários fatores que afetam a tolerância à baixas temperaturas na fase de germinação:

1) **Umidade da semente no início da embebição** - Por ocasião do início da embebição em baixa temperatura, a umidade inicial da semente afeta consideravelmente a intensidade das injúrias causadas pelo frio. Quando comparadas a sementes com baixo teor de umidade inicial, sementes com alto teor de umidade inicial são parcialmente ou completamente protegidas das injúrias de frio (Pollock e

Toole, 1966; Pollock, 1969; Pollock, Roos e Manalo, 1969; Roos e Manalo, 1976; Wolk e Herner, 1982; Herner, 1986).

2) **Velocidade de embebição** - a extensão dos danos causados pelo frio é afetada consideravelmente pela velocidade de embebição da semente em baixa temperatura. A rápida embebição em baixas temperaturas, geralmente está relacionada a uma pobre germinação (Pollock e Toole, 1966; Pollock, 1969; Pollock, Roos e Manalo, 1969; Roos e Manalo, 1976; Wolk e Herner, 1982; Herner, 1986).

3) **Características e/ou integridade do tegumento das sementes** - a taxa de germinação tenderá a ser maior se o tegumento da semente estiver intacto por ocasião do início da embebição em baixas temperaturas, pois a velocidade de embebição será menor. Sementes com tegumento danificado podem apresentar menor germinação quando submetidas à baixas temperaturas (Kotowski, 1926; Pollock e Toole, 1966; Tully, Musgrave e Leopold, 1981; Wolk e Herner, 1982).

4) **Vigor das sementes** - a capacidade de germinação em baixas temperaturas também é afetada pelo vigor das sementes (Copeland, 1976; Mayer e Poljakoff-Mayber, 1982; Wolk e Herner, 1982; Herner, 1986). Os efeitos das baixas temperaturas são maiores em sementes pouco vigorosas, ocasionando maiores reduções na taxa de germinação (Wyatt, 1977).

5) **Cultivar ou espécie** - a extensão das injúrias causadas pelas baixas temperaturas no período de germinação e emergência varia com a cultivar ou espécie envolvida. Vários trabalhos com feijão foram desenvolvidos com sucesso, visando a identificação de materiais com maior capacidade de germinação em baixas temperaturas (Pollock, Roos e Manalo, 1969; Dickson, 1971; Kooistra, 1971; Austin e

Macleán, 1972; Hardwick, 1972; Dickson, 1973; Kemp, 1978; Dickson e Boettger, 1984; Roeggen, 1987; Scully e Waines, 1987; Von Pinho et al., 1991). Assim, o desenvolvimento de cultivares com maior tolerância para germinar sob condições de baixas temperaturas tem sido o método mais utilizado para evitar os efeitos negativos do frio nesta fase.

A tolerância às baixas temperaturas em feijão é relatada em três fases distintas: germinação e emergência (Toole, Wester e Toole, 1951; Dickson, 1971; Kooistra, 1971; Hardwick, 1972; Dickson e Boettger, 1984; Doben, Ast e Corré, 1984; Holubowicz, 1986; Dickson e Petzoldt, 1987; Scully e Waines, 1987), fase vegetativa (Kemp, 1978; Freyman, Kemp e Wilson, 1979; Dickson e Boettger, 1984; Thomas e Sprent, 1984; Dickson e Petzoldt, 1987) e fase reprodutiva (Kemp, 1973; Freyman, Kemp e Wilson, 1979; Dickson e Boettger, 1984; Thomas e Sprent, 1984; Dickson e Petzoldt, 1987).

Parece que a tolerância ao frio, nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, é herdada independentemente (Kemp, 1978 ; Dickson e Petzoldt, 1987). Deste modo, plantas que apresentam tolerância ao frio em uma fase, não necessariamente apresentarão em outras (Kemp, 1978).

Dentro do gênero *Phaseolus*, existe uma grande variabilidade na resposta a baixas temperaturas, sendo que vários materiais já foram identificados como tolerantes ao frio, nas várias fases de desenvolvimento da planta (Toole, Wester e Toole, 1951; Dickson, 1971; Kooistra, 1971; Austin e Maclean, 1972; Hardwick, 1973; Dickson, 1973; Kemp, 1973; Deakin, 1974; Kemp, 1978; Bannerot, 1979; Freyman, Kemp e Wilson, 1979; Hardwick e Andrews, 1980; Dickson e Boettger, 1984; Thomas e Sprent,

1984; Holubowicz, 1986; Dickson e Petzoldt, 1987; Scully e Waines, 1987; Holubowicz e Dickson, 1989; Von Pinho et al., 1991).

Vários trabalhos foram realizados em diversas partes do mundo, visando a obtenção de cultivares de feijão com tolerância ao frio nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura (Dickson, 1973; Bannerot, 1979; Hardwick e Andrews, 1980; Holubowicz, 1986; Dickson e Petzoldt, 1987), porém poucos trabalhos foram desenvolvidos no Brasil, sendo que um desses trabalhos, que será relatado posteriormente, foi o de Von Pinho et al. (1991).

Um dos primeiros trabalhos objetivando testar a capacidade de germinação do feijão sob condições de baixa temperatura foi realizado por Koistra (1971). Neste trabalho identificou-se algumas variedades de *Phaseolus vulgaris* e de outras espécies de *Phaseolus*, que apresentaram boa capacidade de germinação em baixa temperatura (9,5°C).

Uma das primeiras tentativas de se estudar o controle genético da tolerância a baixas temperaturas na fase de germinação em feijão foi realizada por Dickson (1971). Foram utilizadas populações F₁, F₂ e retrocruzamento obtidos da hibridação de duas linhagens que apresentaram boa germinação em baixas temperaturas, porém nenhum modelo consistente de segregação foi identificado.

Mais tarde, Dickson e Petzoldt (1987) obtiveram sucesso no estudo do controle genético da tolerância a baixas temperaturas em feijão, para a característica de germinação. Duas linhagens, uma apresentando boa germinação e a outra má germinação sob condições de baixa temperatura, foram utilizadas para obtenção das

famílias F_1 , F_2 e retrocruzamento. Observou-se a presença de efeitos aditivos no controle do caráter.

Em estudo realizado por Campos, Ramalho e Abreu (1992), utilizando cultivares identificadas como sensíveis e tolerantes, verificou-se também a predominância do efeito aditivo no controle genético da emergência em baixa temperatura na cultura do feijoeiro.

O controle genético da tolerância a baixas temperaturas em feijão utilizando alguns parâmetros tais como: porcentagem de germinação, vigor de plântulas e dias para emergência, tem mostrado ser poligênico, com a predominância da ação gênica aditiva (Kooistra, 1971; Dickson, 1971; Dickson e Petzoldt, 1987 e Santos et al., 1990).

2.2 Emprego do dialelo no estudo do controle genético

Um sistema de cruzamento dialélico corresponde ao intercruzamento de n materiais, dois a dois, produzindo n^2 combinações possíveis, que correspondem aos n materiais, $n(n-1)/2$ híbridos simples e $n(n-1)/2$ recíprocos dos híbridos simples, perfazendo uma tabela dialélica completa. Pode-se ter também o emprego dos parentais e seus cruzamentos, sem os recíprocos, perfazendo $n(n+1)/2$ combinações, ou a utilização apenas dos $n(n-1)/2$ cruzamentos, em razão da não inclusão dos parentais e seus recíprocos. Ele auxilia na escolha de parentais com base nos seus valores genéticos e, também, possibilita conhecer o controle genético dos caracteres, o

qual orienta na condução das populações segregantes e na seleção (Ramalho; Santos e Zimmermann, 1993).

O emprego apenas dos parentais e seus cruzamentos ou somente dos cruzamentos têm sido as opções mais utilizadas devido à dificuldade de obtenção de número suficiente de sementes híbridas recíprocas em cada cruzamento e, principalmente porque não tem sido observado a ocorrência de efeito materno para a maioria dos caracteres. Hamblin (1977) não observou diferenças entre os cruzamentos e seus recíprocos, para a produção de grãos. Já para o peso da semente do feijão, o mesmo fato tem sido verificado consistentemente (Sarafi, 1978; Foolad e Bassiri, 1983). Segundo Mesquita (1989), o caráter peso da semente tem efeito materno, uma vez que o tegumento da semente, que determina o tamanho, independe do cruzamento, isso é, não têm xênia (Ramalho, Santos e Brasil, 1989), porém, essas diferenças não persistem nas gerações mais avançadas. Para Chung e Stevenson (1973), as diferenças entre cruzamentos e recíprocos no feijão, se presentes, não tem comprometido as estimativas dos componentes genéticos.

Para a análise das tabelas dialélicas existem vários métodos propostos e, entre eles, os mais empregados são os métodos de Jinks e Hayman (1953), Griffing (1956) e Gardner e Eberhart (1966).

O método de Jinks e Hayman (1953), tem sido utilizado para o estudo do controle genético de diversas espécies autógamas como algodão, arroz, cevada, ervilha, grão de bico, feijão-fava, soja, sorgo, tomate e trigo. No caso específico do feijoeiro, já foi empregado no estudo de vários caracteres (Davis e Frazier, 1966;

Dickson, 1967; Chung e Stevenson, 1973; Park e Davis, 1976; Tonguthaisri, 1976; Santos, 1984).

Para a aplicação desse método há algumas restrições, entre elas as seguintes: 1. segregação diplóide; 2. progenitores homozigóticos; 3. apenas diferenças ambientais entre as descendências de um cruzamento e seu recíproco; 4. ausência de alelismo múltiplo; 5. ausência de epistasia; 6. distribuição independente dos genes nos progenitores (Hayman, 1954). A ausência da interação de genótipos por ambientes foi também considerada uma restrição por Allard (1956) e Crumpacker e Allard (1962). No feijoeiro, algumas restrições são, em geral, atendidas, como parentais homozigóticos e segregação diplóide. No entanto, outras restrições dificilmente são atendidas, como a distribuição independente dos genes nos parentais e ausência de epistasia. Assim, a utilização indiscriminada do método de Jinks e Hayman(1953) tem recebido críticas por causa das suposições em que se baseia o modelo genético.

Por sua vez, o método de análise de dialelos desenvolvido por Gardner e Eberhart (1966) permite utilizar a tabela dialélica completa, com n^2 combinações e também a meia tabela dialélica, com $n(n+1)/2$ combinações, e tem sido bem utilizado para várias espécies, sobretudo porque fornece informações mais detalhadas a respeito da heterose. Uma modificação nesse método permitiu a análise dos cruzamentos dialelos parciais, em que um grupo de parentais é cruzado com outro grupo (Geraldi e Miranda Filho, 1988). Inclusive esses dialelos parciais têm sido empregados com frequência no melhoramento do feijoeiro (Ramalho, Santos e Pereira, 1988).

O procedimento proposto por Griffing (1956) tem como vantagem a obtenção das estimativas da capacidade geral e específica de combinação nos cruzamentos, que são informações úteis aos melhoristas. Essa metodologia é aplicável para quatro tipos de tabelas dialélicas, ou seja:

Método 1 - são avaliadas as n^2 combinações e inclui os parentais, os cruzamentos entre esses parentais e seus recíprocos;

Método 2 - são avaliadas as $n(n+1)/2$ combinações correspondentes aos parentais e seus cruzamentos, excluindo-se os recíprocos;

Método 3 - são avaliadas as $n(n-1)$ combinações correspondentes aos cruzamentos e aos recíprocos, excluindo-se os parentais;

Método 4 - são avaliadas apenas as $n(n-1)/2$ combinações correspondentes aos cruzamentos dos n parentais.

Todos esses métodos possibilitam o uso de modelos fixos ou aleatórios. No aleatório, os tratamentos experimentais representam uma amostra de uma população, assim as estimativas de interesse para o melhorista são as variâncias genéticas e ambientais. Nas espécies autógamas, a maioria dos parentais usados em dialélio é escolhida; assim, eles não podem ser considerados uma amostra da espécie, porque formam uma população com propriedades genéticas particulares (Gardner e Eberhart, 1966; Sokol e Baker, 1977). Por essa razão, quando são envolvidas cultivares ou linhagens de espécies autógamas, previamente escolhidas, é mais prudente considerar os efeitos genéticos como fixos.

Na análise da tabela dialélica, segundo Griffing (1956), a média de cada cruzamento (C_{ij}) é decomposta nos seguintes efeitos:

$$C_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + e_{ij}$$

onde:

m : efeito médio de todos os tratamentos;

g_i : efeito da capacidade geral de combinação do parental de ordem i , e corresponde ao desvio de seu desempenho médio em combinações híbridas;

g_j : efeito da capacidade geral de combinação do parental de ordem j ;

s_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação do cruzamento C_{ij} e significa que seu desempenho é superior ou inferior em relação ao esperado com base no comportamento médio dos parentais envolvidos;

r_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação manifestada no cruzamento recíproco, envolvendo os parentais i e j , e só pode ser estimado quando os recíprocos são incluídos na tabela dialélica;

e_{ij} : erro experimental médio associado às médias da tabela dialélica.

A significância da fonte de variação capacidade geral de combinação (CGC), na análise de variância, mostra que os parentais diferem em relação à capacidade geral de combinação, indicando que é possível identificar parentais com potencial superior em combinações híbridas. Já a significância da capacidade específica de combinação (CEC) mostra que há heterogeneidade nos cruzamentos, sendo assim

possível identificar pares de parentais que apresentam boa capacidade de combinação entre si.

Nos programas de melhoramento de feijão as seleções são praticadas nas gerações segregantes mais avançadas, onde a maioria dos locos já está em homozigose. Assim, nessas gerações existe praticamente uma mistura de linhas puras e o sucesso na seleção será tanto maior quanto maior for a variância genética entre elas, que contém apenas os efeitos aditivos, já que ocorre só homozigotos. Por essa razão, o conhecimento da capacidade geral de combinação é a informação de maior utilidade para os melhoristas de autógamas, pois ela reflete a variância genética aditiva existente (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993).

2.3 Previsão do potencial de cruzamentos através de parâmetros genéticos de média e variância

Apesar das inúmeras pesquisas, não existe consenso sobre como escolher os parentais visando a condução de um programa de melhoramento. Segundo Baenziger e Peterson (1991), para um caráter quantitativo, os métodos disponíveis podem ser incluídos em dois grupos. No primeiro deles os parentais são escolhidos em função do desempenho "per se", onde podem ser arrolados vários processos tais como: o desempenho médio dos parentais; a divergência ou coeficiente de parentesco; análise multivariada visando estimar a divergência genética. Todos esses métodos têm sido amplamente utilizados isoladamente ou em conjunto. No segundo, por sua vez, incluem métodos que avaliam os parentais tomando como referência o desempenho de

suas progênies e o procedimento mais utilizado tem sido o dos cruzamentos dialelos usando a geração F_1 ou gerações mais avançadas de endogamia.

Na escolha de uma população segregante, além da sua performance média, a variabilidade existente é fundamental, isto porque a população segregante obtida poderá expressar pequena variabilidade genética, em função dos materiais superiores que foram cruzados, apresentarem constituições genéticas semelhantes para o caráter em apreço (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993).

A previsão através de parâmetros genéticos de média e variância permite uma análise detalhada da estrutura e potencial genético do material avaliado. Segundo Ramalho e Vencovsky (1978) a eficiência do melhoramento de plantas depende de um melhor conhecimento da variabilidade genética e do tipo de ação gênica predominante no controle do caráter sob seleção.

Entre as metodologias propostas para se fazer a previsão do potencial de cruzamentos utilizando além de médias, as variâncias, destaca-se a de Jinks e Pooni (1976), a qual utiliza as estimativas desses parâmetros nas primeiras gerações segregantes para predição das linhagens na geração F_∞ . De acordo com essa metodologia é possível fazer previsões sobre o potencial das linhas puras derivadas de um determinado cruzamento, com base apenas nas informações das suas gerações iniciais. Desse modo, permite descartar materiais pouco promissores logo no início do programa. Ela se baseia no fato de que a distribuição fenotípica das linhagens em uma geração F_∞ segue uma distribuição normal, desde que o caráter considerado seja controlado por no mínimo seis genes. Usando as propriedades de uma distribuição

normal é possível estimar a probabilidade de ocorrência de linhagens com fenótipo que supere um determinado padrão.

A previsão do potencial genético de cruzamentos através da estimativa de componentes de médias e variâncias das gerações iniciais já foram utilizadas para a cultura da soja (Toledo, 1987; Toledo 1989; Triller, 1994), *Nicotiana rustica* (Toledo, 1986) e trigo (Snape, 1982; Van Ooijen, 1989a,b; Van Oeveren, 1992). No caso da soja, em trabalho realizado no Brasil, empregou-se apenas a informação da geração F_2 (Toledo, 1987). Ele considerou ausência de dominância e efeitos epistáticos no controle genético do caráter. Dessa forma, a média da geração F_2 é igual a média da população de linhagens na geração F_∞ e, a variância genética dessa geração, contém apenas a variância genética aditiva.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os cruzamentos e avaliação dos híbridos foram realizados no Departamento de Biologia da Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL). O município de Lavras está situado na Região Sul do Estado de Minas Gerais, a 910 metros de altitude, 21°14'S de latitude e 45°00'W de longitude.

3.1 Material utilizado

O cruzamento dialelo realizado envolveu dez materiais, entre linhagens experimentais e cultivares (Tabela 1). Esses materiais foram escolhidos em função dos resultados da tolerância à baixa temperatura na fase de germinação e emergência, obtidos anteriormente por Von Pinho (1990). Como se observa na Tabela 1, três cultivares foram consideradas tolerantes e sete sensíveis à baixa temperatura na germinação. Além do mais, os materiais diferiram quanto a origem, hábito de crescimento, cor e tamanho dos grãos.

TABELA 1 - Relação das cultivares de feijão utilizadas para o cruzamento dialelo e algumas características agrônômicas.

Cultivares	Tolerância à Baixa Temperatura na Germinação ^{1/}	Cor dos Grãos	Origem	Hábito de crescimento ^{3/}	Peso de 100 sementes (g)
1. Rio Vermelho	Tolerante	Roxa	IAPAR	II	20.13
2. Small White	Tolerante	Branca	Califórnia	III	15.10
3. A-488	Tolerante	Preta	CIAT	II	20.27
4. Carioca	Sensível	Creme c/estrias marron	IAC	III	23.36
5. EMGOPA-201(Ouro) ^{2/}	Sensível	Amarela	CIAT	II	20.47
6. IPA-7419	Sensível	Creme	IPA	III	21.45
7. ESAL-591	Sensível	Creme c/estrias marron	ESAL	II	20.93
8. ESAL-609	Sensível	Creme c/estrias marron	ESAL	II	18.25
9. ESAL-501	Sensível	Creme c/estrias marron	ESAL	III	21.17
10. Manteigão Fosco 11	Sensível	Creme	UFV	I	45.99

1/ Baseada em avaliação realizada por Von Pinho (1990).

2/ A cultivar EMGOPA-201 (Ouro) durante o transcórper do trabalho será denominada simplesmente por Ouro.

3/ I - Hábito de crescimento determinado;
 II - Hábito de crescimento indeterminado com guias curtas;
 III - Hábito de crescimento indeterminado com guias longas.

3.2 Obtenção das sementes F₂ para os experimentos

A obtenção da geração F₁, de todos os quarenta e cinco híbridos com os seus respectivos recíprocos, foi realizada em casa de vegetação no período de março a maio de 1992. Em agosto, as sementes F₁ foram semeadas para a obtenção das

sementes F_2 . As sementes dos parentais também foram multiplicadas na mesma época e condições, visando obter sementes com mesma idade e qualidade fisiológica.

3.3 Condução do experimento de avaliação da tolerância à baixa temperatura na germinação

O experimento foi conduzido no Laboratório do Departamento de Biologia da ESAL, em uma incubadora B.O.D., marca FANEN, com temperatura ajustada para 12°C.

Dos quarenta e cinco híbridos previstos, foram avaliados quarenta e um, já que em quatro casos ocorreu o fenômeno de incompatibilidade. Assim, foram incluídos noventa e dois tratamentos, isto é, quarenta e uma populações F_2 com os respectivos recíprocos mais os dez pais. Utilizou-se o delineamento blocos casualizados com duas repetições, sendo as repetições realizadas em duas épocas distintas: a primeira foi conduzida no período de fevereiro a março de 1992 e a segunda entre setembro e novembro do mesmo ano. Cada parcela era constituída por um rolo de papel toalha contendo 25 sementes.

Por ocasião da instalação do experimento as sementes eram previamente tratadas com Benomyl (0,4 g/l) e Estreptomicina (0,05 g/l). Os papéis toalha foram embebidos em água destilada fria por cerca de 6 horas. Posteriormente, as sementes foram distribuídas no papel toalha, o qual foi enrolado. Cada grupo de quatro rolos de papel toalha foram envoltos por um saco plástico para evitar perda de umidade. Em seguida o material foi acondicionado nas prateleiras da incubadora.

Nove dias após a semeadura e posteriormente a intervalos de dois dias, foram realizadas as avaliações da germinação das sementes. Para isso o papel toalha era desenrolado e identificadas as plântulas germinadas. Foram consideradas germinadas aquelas sementes que apresentavam o eixo hipocótilo-radícula com comprimento superior a três centímetros.

Em cada avaliação as sementes consideradas germinadas eram eliminadas juntamente com aquelas atacadas por fungos e/ou bactérias e, quando necessárias, pulverizações com água destilada foram feitas no papel toalha para manter a umidade necessária para a germinação das sementes. Esse processo repetiu-se até aos quarenta e dois dias após a semeadura.

3.4 Obtenção das estimativas e análise de variância dos dados

Foi estimada a porcentagem de germinação final. Para isso considerou-se o número de sementes germinadas até aos 42 dias, excluindo as atacadas por fungos e/ou bactérias.

Estimou-se também o índice de velocidade de germinação (IVG), segundo a seguinte expressão proposta por Edmond e Drapala (1958):

$$IVG = \frac{\sum_{a=1}^{16} ng}{\sum_{a=1}^{16} g}$$

onde:

IVG - índice de velocidade de germinação, o qual corresponde ao número médio de dias para a germinação;

n - número de dias decorridos da implantação do experimento até a avaliação a, sendo $a = 1, 2, \dots, 16$;

g - número de sementes ou plântulas germinadas em cada avaliação.

Foi realizada a análise de variância da porcentagem de germinação final transformada para o arco seno da porcentagem (Steel & Torrie, 1980) e do índice de velocidade de germinação. O esquema da análise de variância é apresentado na Tabela 2. O modelo matemático adotado, em ambos os casos, considerando os efeitos como fixos foi o seguinte:

$$Y_{ijkl} = m + H_i + P_j + R_k + E_l + (HR)_{ik} + (HE)_{il} + (RE)_{kl} + (PE)_{jl} + (HRE)_{ikl}$$

onde:

Y_{ijkl} : observação no híbrido i, no parental j, no recíproco k, na época l ;

m : média geral ;

H_i : efeito do híbrido i, sendo $i = 1, 2, \dots, 41$;

P_j : efeito do parental j, sendo $j = 1, 2, \dots, 10$;

R_k : efeito do recíproco k, sendo $k = 1, 2$;

E_l : efeito do época l, sendo $l = 1, 2$;

(HR) : efeito da interação híbrido x recíproco;

(HE) : efeito da interação híbrido x época;

(RE) : efeito da interação recíproco x época;

(PE) : efeito da interação parental x época;

(HRE) : efeito da interação híbrido x recíproco x época.

TABELA 2 - Esquema da análise de variância da porcentagem de germinação final e do índice de velocidade de germinação.

FV	GL	QM	E(QM)
Época (E)	b-1	Q ₁	$p\phi_{HRE} + hr\phi_{PE} + hp\phi_{RE} + pr\phi_{HE} + hpr\phi_E$
Tratamento (T)	t-1		
. Híbrido (H)	h-1	Q ₂	$p\phi_{HRE} + pr\phi_{HE} + pb\phi_{HR} + prb\phi_H$
. Recíproco (R)	r-1	Q ₃	$p\phi_{HRE} + hp\phi_{RE} + pb\phi_{HR} + hpb\phi_R$
. Pais (P)	p-1	Q ₄	$hr\phi_{PE} + hrb\phi_P$
. H x R	(h-1)(r-1)	Q ₅	$p\phi_{HRE} + pb\phi_{HR}$
. P vs H	1		
T x E	(b-1)(t-1)		
. H x E	(h-1)(b-1)	Q ₆	$p\phi_{HRE} + pr\phi_{HE}$
. R x E	(r-1)(b-1)	Q ₇	$p\phi_{HRE} + hp\phi_{RE}$
. P x E	(p-1)(b-1)	Q ₈	$hr\phi_{PE}$
. H x R x E	(h-1)(r-1)(b-1)	Q ₉	$p\phi_{HRE}$
. (P vs H) x E	1		

onde:

$\phi_E, \phi_H, \phi_R, \phi_P$: somatório dos desvios ao quadrado de épocas, híbridos, recíprocos e parentais, respectivamente;

$\phi_{HE}, \phi_{RE}, \phi_{PE}, \phi_{HR}, \phi_{HRE}$: somatório dos desvios ao quadrado da interação híbrido x época, recíproco x época, parental x época, híbrido x recíproco, híbrido x recíproco x época, respectivamente;

b: número de épocas (b=2); t: número de tratamentos (t=92); h: número de híbridos (h=41); r: número de recíprocos (r=2); p: número de parentais (p=10).

Os dados médios da porcentagem de germinação final e do índice de velocidade de germinação foram submetidos a análise dialélica utilizando o método IV de Griffing (1956), tendo em vista que não houve efeito dos cruzamentos recíprocos, segundo o seguinte modelo:

$$C_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$$

onde:

C_{ij} : é a média do cruzamento ij ;

m : é a média geral dos cruzamentos;

g_i e g_j : é a capacidade geral de combinação dos parentais i e j , respectivamente;

s_{ij} : é a capacidade específica de combinação do cruzamento ij ;

e_{ij} : é o erro associado à estimativa da média dos cruzamentos.

Devido a ocorrência de incompatibilidade em alguns cruzamentos, para a estimativa dos parâmetros do modelo foi necessário utilizar o método dos quadrados mínimos (Vencovsky e Barriga, 1992), ou seja, a solução da equação do tipo $X'X\beta = X'Y$.

Onde:

X é a matriz do modelo. No caso, foi estabelecida a hipótese que a capacidade específica de combinação é igual a zero, sendo assim, a matriz X foi:

Matriz X

$${}_{41}X_{11} = \begin{matrix} & m & g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 & g_8 & g_9 & g_{10} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

X' é a transposta de X .

Y é o vetor dos observações, isto é:

$${}_{41}Y_1 = \begin{bmatrix} C_{12} \\ C_{13} \\ C_{14} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{23} \\ C_{24} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{79} \\ C_{89} \end{bmatrix}$$

β é o vetor dos parâmetros. No caso,

$${}_{11}\beta_1 = \begin{bmatrix} m \\ g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \\ g_5 \\ g_6 \\ g_7 \\ g_8 \\ g_9 \\ g_{10} \end{bmatrix} \text{ e é obtido por } \beta = (X'X)^{-1}X'Y$$

Como a matriz $(X'X)$ é singular, ou seja, não tem inversa única, foi necessário utilizar a restrição proposta por Searle (1976), a qual não só permitiu estimar os parâmetros do modelo, como também seus erros. Essa restrição consiste em

acrescentar uma coluna e uma linha na matriz $(X'X)$. Elas foram obtidas a partir do mínimo múltiplo comum (m.m.c.) do número de híbrdos envolvidos na estimativa de cada g. Dividiu-se esse número pelo número de híbrdos de cada g, primeira linha da matriz $(X'X)$, e o resultado foi colocado na última linha da matriz. No caso de m, o valor é zero pois a restrição envolve apenas os g's. Repetiu-se esse resultado na última coluna. Assim, no presente caso, $(X'X)$ passou a ser:

$${}_{12}(X'X)_{12} = \begin{bmatrix} 41 & 9 & 9 & 9 & 8 & 9 & 9 & 8 & 8 & 8 & 5 & 0 \\ 9 & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 40 \\ 9 & 1 & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 40 \\ 9 & 1 & 1 & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 40 \\ 8 & 1 & 1 & 1 & 8 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 45 \\ 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 40 \\ 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 40 \\ 8 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 8 & 1 & 1 & 0 & 45 \\ 8 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 8 & 1 & 0 & 45 \\ 8 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 8 & 0 & 45 \\ 5 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 5 & 72 \\ 0 & 40 & 40 & 40 & 45 & 40 & 40 & 45 & 45 & 45 & 72 & 0 \end{bmatrix}$$

Após a obtenção de $(X'X)^{-1}$ essa última linha e coluna foram eliminadas antes de proceder o produto $(X'X)^{-1}.X'Y$, que corresponde ao vetor dos parâmetros β . A diagonal de $(X'X)^{-1}$ multiplicado pelo quadrado médio (QM) do erro permitiu obter as estimativas dos erros dos parâmetros obtidos.

Com essas estimativas foram obtidas a soma de quadrados do modelo que corresponde, no caso, à soma de quadrados da Capacidade Geral de Combinação e, a soma de quadrados do desvio do modelo, correspondendo à soma de quadrados da Capacidade Específica de Combinação (Vencovsky e Barriga, 1992)

3.5 Previsão do potencial das populações na obtenção de linhagens superiores

Para fazer essa previsão utilizaram-se os procedimentos preconizados por Jinks e Pooni (1976) e empregados por Toledo (1989) e Triller (1994) para a cultura da soja. Para isso, conforme mencionado anteriormente, considerou-se que a população após inúmeras autofecundações será constituída por uma mistura de linhas puras que se ajustam a uma distribuição normal. Utilizando as propriedades da distribuição normal foi possível estimar a probabilidade (P) de ocorrência de linhagens que superem um determinado padrão. Essa probabilidade (P) corresponde à área compreendida à esquerda ou à direita de um determinado valor x na abscissa. Para estimar essa área é utilizada a estimativa da ordenada (Z) pela expressão $Z = (x - m)/s$ (Steel e Torrie, 1980), onde x é um valor qualquer na abscissa. Nesse caso pode-se tomar como referência, por exemplo, o parental com maior velocidade de germinação das sementes. O m é a média geral das linhagens e, num modelo sem dominância, corresponde à média da população na geração F_2 utilizada; s é o desvio padrão fenotípico das linhagens (σ_{F_L}). Em se tratando de linhagens, $\sigma_{F_L}^2$ corresponde a $2\sigma_A^2 + \sigma_E^2$ que equivale a $D + E$ na simbologia de Jinks e Pooni (1976). A variância genética entre as linhagens, no caso de cruzamentos biparentais e na ausência de seleção, onde a frequência do alelos nos locos segregantes é 0,5, envolve apenas a variância genética aditiva, e corresponde a $\sigma_{G_L}^2 = 2\sigma_A^2$, isto é, duas vezes a variância aditiva presente na população de referência, ou seja geração F_2 (Ramalho, Santos e

Zimmermann, 1993). Desse modo $\sigma_{F_L}^2 = 2\sigma_A^2 + \sigma_E^2$, onde σ_E^2 é a variância ambiental entre as linhagens.

A estimativa de σ_A^2 utilizada foi obtida a partir da variância fenotípica da geração F_2 ($\sigma_{F_2}^2$), em modelo sem dominância, que é: $\sigma_{F_2}^2 = \sigma_A^2 + \sigma_E^2$, assim $\sigma_A^2 = \sigma_{F_2}^2 - \sigma_E^2$. Utilizou-se como estimativa de σ_E^2 a variância fenotípica dos parentais. Desse modo, tem-se:

$$Z = \frac{X - m}{s} = \frac{\bar{L}_i - \bar{F}_2}{\sqrt{2\sigma_{F_2}^2 - \sigma_P^2}}$$

onde:

\bar{L}_i : média da linhagem i ; i corresponde à linhagem com melhor desempenho com relação ao índice de velocidade de germinação;

\bar{F}_2 : média da geração F_2 de cada cruzamento;

$\sigma_{F_2}^2$: variância fenotípica da geração F_2 de cada cruzamento;

σ_P^2 : variância fenotípica média dos parentais envolvidos.

Assim, através de uma tabela de Z (Steel e Torrie, 1980), foram obtidas as estimativas de probabilidades (P) em cada cruzamento realizado, de obtenção de linhagens superiores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das quarenta e cinco combinações híbridas esperadas no dialelo envolvendo dez pais, que foi o caso desse trabalho, quatro não foram obtidas. Em todas elas, um dos parentais era a cultivar Manteigão Fosco 11, que apresenta grãos grandes, em combinação com 'Carioca', 'ESAL 591', 'ESAL 609' e 'ESAL 501', que possuem grãos pequenos (Tabela 1). As sementes F_1 dessas combinações híbridas foram obtidas, porém as plantas F_1 , logo após a emergência, apresentaram sintomas típicos de incompatibilidade, isto é, paralisação do crescimento das gemas apicais e clorose generalizada.

Essa incompatibilidade foi detectada pela primeira vez por Davis e Frazier (1964) e sempre foi observada nos cruzamentos envolvendo cultivares de grãos grandes com cultivares de grãos pequenos. O controle genético desse caráter foi estudado e constataram que estão envolvidos dois genes DL_1 e DL_2 que apresentam epistasia recessiva dupla, isto é, em presença dos alelos dominantes DL_1 e DL_2 dos dois genes, ocorre a incompatibilidade.

Nesse caso, a cultivar Manteigão Fosco 11 deve possuir o genótipo $dl_1dl_1DL_2DL_2$ e as demais o genótipo $DL_1DL_1dl_2dl_2$ (Singh e Gutierrez, 1984). Nos

cruzamentos da 'Manteigão Fosco 11' com as cultivares Rio Vermelho, Small White, A-488, Ouro e IPA-7419, que também possuem grãos pequenos, não ocorreu incompatibilidade porque o genótipo dessas cultivares deve ser $dl_1dl_1dl_2dl_2$. Cambraia, Ramalho e Abreu (1993) mostraram que algumas cultivares de feijão com grãos pequenos, em uso na região, possuem o genótipo $dl_1dl_1dl_2dl_2$, inclusive algumas mencionadas anteriormente.

Na condução de um programa de melhoramento visando a tolerância à baixa temperatura na germinação e emergência, um dos principais problemas é identificar a temperatura ideal para se realizar a seleção. Sob condições de campo há, normalmente, grande oscilação na temperatura entre os dias e mesmo durante o dia, especialmente quando se considera as temperaturas diurnas e noturnas. Infelizmente, numa B.O.D. não é possível simular essa variação de temperatura, deve-se então escolher uma temperatura média que seja suficiente para detectar diferenças entre os materiais envolvidos e que represente em média a condição de temperatura prevalecente na região. Optou-se por 12°C por ter sido uma temperatura média detectada em algumas regiões do Sul de Minas Gerais, no período de julho-agosto (Von Pinho et al., 1991), que é a época preconizada para a semeadura do feijoeiro de outono-inverno na região.

A análise de variância da porcentagem de germinação final é mostrada na Tabela 3. Observou-se que o coeficiente de variação foi de 14,06%. Considerando que foi uma avaliação de germinação sob condições controladas, era esperada uma menor estimativa desse coeficiente. Contudo, apesar de todos os cuidados, nem sempre a distribuição de água nas parcelas, através das pulverizações realizadas durante os

quarenta e dois dias de condução do experimento, era uniforme e, esse fato, pode ter contribuído para reduzir a precisão. Além disso, como a germinação foi avaliada em condições de baixa temperatura (12°C), houve, especialmente em alguns casos, atraso na germinação, como será mostrado posteriormente, aumentando assim a possibilidade de ocorrência de fungos e/ou bactérias que danificaram as sementes, o que, também, deve ter contribuído para a diminuição da precisão. Entretanto, apesar dessa estimativa do C.V., foi possível detectar diferenças significativas entre híbridos ($P < 0,01$).

TABELA 3 - Resumo da análise de variância do índice de velocidade de germinação (IVG) e da porcentagem de germinação final (PGF), em temperatura de 12°C, em condições de laboratório. ESAL - Lavras, MG, 1993.

F.V.	G.L.	QM	
		IVG	PGF ^{a/}
Época (E)	1	1.120,788**	1.061,591
Híbridos (H)	40	161,052**	705,195**
Recíproco (R)	1	5,139	25,407
Parentais (P)	9	170,146	289,207
H x R	40	22,921	144,677
P vs H	1	1,708	6,376
E x H	40	22,693	121,070
E x R	1	4,402	40,975
E x P	9	56,223	227,742
E x H x R	40	21,876	105,377
E x (P vs H)	1	2,304	187,920
Média		21,59	73,02
CV(%)		21,66	14,06

** - significativo ao nível de 1%, pelo teste F.

^{a/} dados transformados para $ARC \text{ SEN } \sqrt{X/100}$

Embora não tenha sido detectado teste de F significativo entre os parentais, constata-se que a porcentagem média de germinação (Tabela 4) variou entre os parentais utilizados. Foi inferior a 70% para 'Carioca', 'ESAL 609' e 'ESAL 501' enquanto os demais apresentaram, ao final dos 42 dias, germinação superior a 85%

TABELA 4 - Resultados médios da porcentagem de germinação, após 42 dias, na temperatura de 12°C, obtidos na avaliação da geração F₂ do cruzamento dialélico. ESAL - Lavras, MG, 1993.

Cult *	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	96	91	99	96	87	98	84	91	75	100
2		94	96	97	99	98	83	96	89	100
3			98	95	98	96	99	99	95	98
4				60	87	97	74	87	82	—
5					94	72	62	64	46	81
6						94	55	86	83	86
7							86	47	64	—
8								66	78	—
9									68	
10										98

* 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - A-488; 4 - Carioca; 5 - Ouro; 6 - IPA-7419; 7 - ESAL-591; 8 - ESAL-609; 9 - ESAL-501 e 10 - Manteigão Fosco 11

Esses resultados são, pelo menos em princípio, coerentes com os relatados por Von Pinho (1990) com esses mesmos materiais. A discrepância foi na magnitude da porcentagem de germinação que, no trabalho mencionado, foi menor e no comportamento da cultivar Manteigão Fosco 11 que esteve, ao contrário do

observado no presente trabalho entre os materiais com menor porcentagem de germinação

Na identificação de plantas tolerantes à baixa temperatura na germinação e emergência, não basta apresentar apenas uma alta porcentagem de germinação. É preciso que ela ocorra o mais rápido possível para atender as necessidades da cultura, conduzida nas condições prevalentes no outono-inverno no Sul de Minas Gerais. Nessa situação, a estimativa do índice de velocidade de germinação (IVG), como proposto por Edmond e Drapala (1958) é boa opção. Em princípio é preciso enfatizar que quanto menor o índice, mais tolerante é o material.

A análise da variância para o IVG é mostrada na Tabela 3. Verifica-se que os resultados foram semelhantes aos obtidos para a porcentagem de germinação, exceto que também foi constatada diferença significativa entre épocas. A estimativa do C V foi maior do que da porcentagem de germinação, contudo, por esse dado se tratar de um índice e não ter sido transformado, essa discrepância era esperada.

Os parentais com menor velocidade de germinação (Tabela 5) foram 'Carioca', 'ESAL 501', 'ESAL 609' e 'ESAL 591' e os com maior velocidade foram 'Small White', 'Manteigão Fosco 11', 'A-488' e 'Rio Vermelho'. Novamente os resultados são compatíveis com aqueles relatados por Von Pinho (1990) exceto no que se refere ao comportamento da cultivar Manteigão Fosco 11. Nesse aspecto, tem sido observado que algumas cultivares de feijão, especialmente aquelas de grãos maiores, apresentam com o decorrer do tempo pós-colheita, um endurecimento do tegumento denominado de 'casca dura', o qual contribui para reduzir a germinação e o vigor das sementes, devido à menor absorção d'água (Mesquita, 1989); provavelmente essa

diferença observada com a cultivar Manteigão Fosco 11 tenha sido provocada pelos diferentes tempos pós-colheita das sementes, que foi maior no experimento realizado anteriormente. Assim, outro fator que pode ter contribuído para a diferença de comportamento desta cultivar pode estar associado à umidade da semente no início da embebição, onde sementes com alto teor de umidade inicial, quando comparadas com sementes com baixo teor, são parcialmente ou completamente protegidas das injúrias causadas pelo frio, ocasionando uma germinação mais rápida (Roos e Manalo, 1976). Provavelmente, as sementes desta cultivar utilizadas no presente experimento, apresentavam umidade inicial maior por serem mais novas.

TABELA 5 - Resultados médios do índice de velocidade de germinação na temperatura de 12°C, obtidos na avaliação da geração F₂ do cruzamento dialelo. ESAL - Lavras, MG, 1993.

Cult.*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12,70	14,78	13,75	18,37	19,85	15,35	21,59	18,66	22,96	13,99
2		9,60	15,32	19,51	15,56	15,19	22,54	15,71	20,22	13,88
3			12,24	17,01	15,63	15,43	19,09	17,18	16,64	17,23
4				35,24	25,18	18,63	31,64	25,02	24,93	—
5					23,85	26,80	32,90	30,18	34,22	24,94
6						21,88	31,82	24,50	26,44	19,48
7							26,20	36,20	30,22	—
8								26,64	26,74	—
9									32,81	—
10										11,93

* 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - A-488; 4 - Carioca; 5 - Ouro; 6 - IPA-7419; 7 - ESAL-591; 8 - ESAL-609; 9 - ESAL-501 e 10 - Manteigão Fosco 11.

Como se observa, os parentais com menores velocidades de germinação, ou seja, menos tolerantes à baixa temperatura na germinação, foram também os que apresentaram menores porcentagens de germinação. Inclusive foi estimada a correlação utilizando a média dos parentais, para o índice de velocidade de germinação e porcentagem de germinação, e constatou-se que ela foi alta e negativa ($r = - 0,86^{**}$). Infere-se, assim, que os parentais com maior valor para o índice de velocidade de germinação são, também, os que apresentam menor porcentagem de germinação.

Quando se considera a média dos híbridos de cada parental, constata-se que também ocorreu variação, sendo os mais sensíveis os híbridos envolvendo os parentais 'ESAL 591', 'ESAL 501' e 'Carioca', e os mais tolerantes com 'A-488', 'Small White' e 'Rio Vermelho'. Considerando cada combinação híbrida, observa-se que o IVG variou de 13,75 (A-488 x Rio Vermelho) a 36,20 (ESAL 609 x ESAL 591). De início é possível inferir que há possibilidade de se identificar combinações híbridas, em condições de fornecer outras linhagens mais tolerantes à germinação em baixa temperatura.

Não se encontrou associação entre o tamanho das sementes, apresentado pelos parentais envolvidos, e o índice de velocidade de germinação ($r = - 0,19$ NS), e nem entre o tamanho das sementes e a porcentagem de germinação ($r = 0,21$ NS). Estes resultados corroboram os obtidos por Von Pinho (1990), onde a correlação entre o índice de velocidade de germinação dos experimentos e o peso de cem sementes foi praticamente nula ($r = 0,03$). Dickson (1973) também não encontrou influência do tamanho da semente do feijão na capacidade de germinação em baixas temperaturas

e, segundo Austin e Maclean (1972), existem indícios de que a correlação entre o tamanho das sementes e a germinação em baixas temperaturas é até mesmo negativa.

Um outro aspecto que deve ser mencionado refere-se ao comportamento da linhagem ESAL 501 que, pelos resultados obtidos, comportou-se como sensível à baixa temperatura na germinação; resultado este concordante com o obtido por Von Pinho (1990). Por outro lado, em avaliações anteriores, essa mesma linhagem comportou-se como tolerante ao frio na fase adulta (Santos e Ramalho, 1987; Santos, Ramalho e Abreu, 1990; Santos et al., 1990). Assim, plantas que são tolerantes ao frio na fase de germinação não necessariamente serão em outras. Novamente isto vem reforçar os resultados obtidos em outros trabalhos, que afirmam sobre a independência no controle genético das características relacionadas com a tolerância ao frio (Kemp, 1973; Dickson e Petzoldt, 1987).

Para a porcentagem de germinação final (PGF) e o índice de velocidade de germinação (IVG), não se constatou efeito dos cruzamentos recíprocos, sugerindo não ocorrer efeito materno ou herança extracromossômica. Ausência de diferença nos cruzamentos recíprocos no feijoeiro, tem sido constatado para outros caracteres (Hamblin, 1977; Sarafi, 1978; Foolad e Bassiri, 1983; Mesquita, 1989).

Como não ocorreu diferença nos cruzamentos recíprocos, as análises dialélicas foram efetuadas considerando a média dos híbridos, isto é, independente do genitor feminino utilizado. A análise de variância do dialelo segundo Griffing (1956), modelo IV, é apresentada na Tabela 6. Verifica-se que, para a porcentagem de germinação, tanto o efeito da Capacidade Geral de Combinação (CGC) quanto o da Capacidade Específica de Combinação (CEC) foram significativos ($P < 0,01$). Contudo,

constatou-se que o quadrado médio (QM) da CGC foi 8,67 vezes maior que o da CEC. Esses resultados indicam que no controle desse caráter há predominância de efeitos aditivos, entretanto, ocorrem também interações alélicas de dominância (Griffing, 1956; Vencovsky e Barriga, 1992).

TABELA 6 - Resumo da análise de variância para o índice de velocidade de germinação (IVG) e porcentagem de germinação final (PGF) do cruzamento dialélio. ESAL - Lavras, MG, 1993.

F.V.	G.L.	Q.M.	IVG	PGF ^{al}
Epoca (E)	1		241,894**	172,146**
Híbridos (H)	40		40,263**	176,299**
- CGC	9		152,145**	560,786**
- CEC	31		7,818	64,666**
E x H	40		5,673	30,268
Erro	82		5,492	30,697

** - significativo ao nível de 1%, pelo teste F.
^{al} dados transformados para $ARC\ SEN \sqrt{X/100}$

As estimativas de CGC e de CEC, para a porcentagem de germinação final, são apresentadas na Tabela 7. Os parentais com maiores estimativas da CGC foram 'A-488', 'Small White' e 'Rio Vermelho'; cultivares essas que também apresentaram maiores porcentagens médias de germinação. Assim, devido às maiores estimativas da CGC apresentadas, esses parentais são os mais promissores para participarem dos cruzamentos quando o objetivo for aumentar a porcentagem de germinação em baixa temperatura (Griffing, 1956; Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). Por outro lado, as

linhagens ESAL 591, ESAL 501 e a cultivar Ouro foram as que apresentaram menores estimativas da CGC. Vale ressaltar que a 'Carioca' apresentou CGC positiva, porém de pequena magnitude, contudo, considerando a aceitação do seu tipo de grão, deve ser escolhida como um dos parentais visando associar a tolerância ao frio com a porcentagem de germinação sob condições de baixa temperatura.

TABELA 7 - Capacidade específica e geral de combinação para a característica porcentagem de germinação final, da geração F₂ do cruzamento dialelo. ESAL - Lavras, MG, 1993.

Cult.*	Específica										Geral
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CGC
1	—	-12,67	-5,28	-1,62	7,19	7,41	4,93	1,36	-9,47	8,06	6,11 ± 1,96
2		—	-13,41	-1,79	12,79	4,35	0,04	4,68	0,91	5,00	9,17 ± 1,96
3			—	-5,84	7,16	-1,83	14,03	5,35	3,28	-3,51	13,57 ± 1,96
4				—	2,28	7,73	-2,88	0,81	1,27	—	2,91 ± 1,97
5					—	-5,72	0,14	-7,11	-13,89	-2,91	-7,56 ± 1,96
6						—	-11,78	0,44	5,36	-6,66	-0,35 ± 1,96
7							—	-11,78	6,33	—	-13,20 ± 1,97
8								—	6,18	—	-4,52 ± 1,97
9									—	—	-8,74 ± 1,97
10										—	3,11 ± 2,28

* 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - A-488; 4 - Carioca; 5 - Ouro; 6 - IPA-7419; 7 - ESAL-591; 8 - ESAL-609; 9 - ESAL-501 e 10 - Manteigão Fosco 11.

Entretanto, como a CEC também foi significativa, é possível identificar as combinações híbridas que melhor se complementaram para esse caráter. No caso, as maiores estimativas da CEC foram obtidas com os pares Small White x Ouro e A-488 x ESAL 591 e que, como se observa na Tabela 4, apresentaram alta porcentagem de germinação final, ou seja 99%. A 'Carioca' apresentou a menor porcentagem de germinação (60%), contudo, nos cruzamentos com os parentais 'Rio Vermelho', 'Small

'White' e 'A-488' os híbridos resultantes apresentaram germinação acima de 95%, embora a CEC nesses casos fosse negativa (Tabela 7). Isso ocorre devido a alta CGC desses três parentais. Constata-se, assim, a dificuldade de se inferir a respeito do potencial genético de uma população segregante com base apenas na CEC.

Para o índice de velocidade de germinação só foi constatado efeito significativo para a CGC ($P < 0,01$), Tabela 6, sendo o seu QM 19,46 vezes superior ao QM da CEC. Conforme já mencionado, isso indica a predominância dos efeitos aditivos no controle do caráter. Nessa situação, a própria média do parental é indicativo do seu potencial em cruzamentos (Vencovsky e Barriga, 1992). Esse fato é comprovado através da observação dos dados das Tabelas 5 e 8, e também da correlação entre as estimativas da CGC e da média ($r = 0,77^{**}$).

TABELA 8 - Estimativas da capacidade geral de combinação do índice de velocidade de germinação na temperatura de 12°C. ESAL - Lavras, MG, 1993.

Cultivares	CGC
Rio Vermelho	- 4.69 ± 0.83
Small White	- 5.51 ± 0.83
A-488	- 6.19 ± 0.83
Carioca	0.58 ± 0.84
Ouro	3.56 ± 0.83
IPA-7419	- 0.40 ± 0.83
ESAL-591	7.11 ± 0.84
ESAL-609	2.56 ± 0.84
ESAL-501	3.73 ± 0.84
Manteigão Fosco 11	- 1.39 ± 0.96
Média Geral	21,94 ± 0,44

Do exposto, na escolha de parentais para hibridação, visando obter menores valores do índice de velocidade de germinação, esta deverá incidir nas cultivares A-488, Small White e Rio Vermelho, pois foram as que apresentaram as menores estimativas da CGC. Chama atenção novamente o comportamento da cultivar Carioca que apresentou CGC praticamente nula, porém devido ao tipo de grão, necessariamente deverá ser um dos parentais. Há, contudo, uma dificuldade adicional nesse caso, pois além da diferença na cor dos grãos dos parentais com menores estimativas da CGC em relação à 'Carioca', ainda tem como agravante o fato desses parentais apresentarem grãos pequenos, o que dificultará associar velocidade de emergência com cor e tamanho de grãos semelhantes à 'Carioca'.

No programa de melhoramento de plantas autógamas o objetivo é selecionar no final, linhagens - genótipos homozigotos - que expressem com maior intensidade possível o caráter sob seleção. Assim, na escolha da população segregante, além da CGC e CEC, uma outra estimativa que auxilia o melhorista na tomada de decisão é a probabilidade de se obter na geração F_{∞} , isto é, quando todo material estiver homozigoto, linhagens que superem o fenótipo de um determinado padrão (Jinks e Pooni, 1976; Toledo, 1987; Triller, 1994).

A estimativa dessa probabilidade foi obtida para o índice de velocidade de germinação, utilizando a geração F_2 . Como já mencionado, para esse caráter ao que tudo indica, só houve efeito aditivo dos genes, o que possibilitou a obtenção da referida estimativa. Nessa condição, a variância de dominância é nula, assim a variância genética da F_2 contém apenas a variância genética aditiva. Como medida da variância ambiental, utilizou-se a variância fenotípica média de todos os parentais

($\sigma_E^2 = \sigma_P^2 = 36,58$), e não só dos parentais envolvidos em cada cruzamento. Esse procedimento, provavelmente, possibilitou uma melhor estimativa de σ_E^2 , com menor influência de possíveis flutuações aleatórias a que determinados parentais pudessem estar submetidos.

Na Tabela 9, são apresentadas as estimativas da variância fenotípica e genética da geração F_2 . Constata-se que houve uma ampla variação. Partindo-se do pressuposto que os pais diferem na manifestação do caráter, essa variação nos híbridos obtidos era esperada. Isso indica que, quanto maior a estimativa da variância genética, maior foi a variabilidade liberada pelo cruzamento. Observe, por exemplo, que a população proveniente do cruzamento Rio Vermelho x Small White ou Rio Vermelho x A-488, que são todos materiais tolerantes, apresentaram estimativas de variância genética igual a zero, sugerindo que esses parentais devem possuir, provavelmente, os mesmos genes de tolerância. Os cruzamentos que liberaram maiores variabilidades foram, entre outros, Rio Vermelho x ESAL 501, Ouro x ESAL 501, IPA-7419 x Manteigão Fosco 11 e Ouro x Manteigão Fosco 11. Como se constata, em alguns casos, houve variação acentuada mesmo no cruzamento entre pais considerados sensíveis. Depreende-se assim que provavelmente, ao contrário do relatado anteriormente, a constituição genética desses materiais sensíveis deve ser diferente. Desperta a atenção o desempenho da linhagem sensível ESAL 501, cujas populações F_2 apresentaram em média, independente do outro parental utilizado, a maior variância genética. Deve ser enfatizado contudo, que como ela é sensível, necessitando de maior número de dias para emergir, ou seja, apresentando maior valor para o IVG, na população segregante alguns descendentes com desempenho

semelhante ao parental contribuem para aumentar a estimativa da variância e, portanto, a possível vantagem de apresentar uma grande variância genética na F_2 deve ser considerada com ressalva.

TABELA 9 - Variâncias fenotípicas dos parentais e da geração F_2 (na diagonal e acima, respectivamente) e genéticas da geração F_2 (abaixo da diagonal) para o índice de velocidade de germinação. ESAL - Lavras, MG. 1993.

Cult. ^{1/}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26,58	10,72	2,97	36,86	24,95	29,39	80,01	41,30	111,96	7,09
2	0,00 ^{2/}	1,14	27,33	50,01	16,73	14,92	97,93	11,86	89,26	24,80
3	0,00	0,00	9,69	29,98	16,49	20,44	33,68	21,51	43,24	45,51
4	0,28	13,43	0,00	60,89	82,13	38,68	68,05	53,53	87,97	—
5	0,00	0,00	0,00	45,55	37,30	66,99	71,16	92,01	109,85	105,77
6	0,00	0,00	0,00	2,00	30,41	62,72	96,42	70,01	82,56	109,94
7	43,43	61,35	0,00	31,47	34,58	59,84	19,69	65,16	75,59	—
8	4,72	0,00	0,00	16,97	55,43	33,43	28,58	51,74	72,44	—
9	73,58	52,68	6,66	51,39	73,27	45,98	39,01	35,86	80,39	—
10	0,00	0,00	8,93	—	69,19	73,36	—	—	—	15,62

^{1/} 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - A-488; 4 - Carioca; 5 - Ouro; 6 - IPA-7419; 7 - ESAL-591; 8 - ESAL-609; 9 - ESAL-501 e 10-Manteigão Fosco 11.

^{2/} Nos casos em que a estimativa da variância foi negativa, considerou-se o valor como sendo zero.

As probabilidades de cada cruzamento dar origem a linhagens com velocidade de germinação superior à cultivar tolerante Small White, utilizada como padrão, são apresentadas na Tabela 10. Nessa tabela os cruzamentos que não apresentam nenhum valor, são aqueles em que a probabilidade foi nula, indicando que

não há chance de se obter, no final, linhagens com tolerância superior a essa cultivar padrão. O cruzamento que deverá propiciar maior probabilidade de sucesso ($P=23,27\%$), envolve os parentais IPA-7419 x Manteigão Fosco 11. Apesar desses dois parentais não terem se destacados com alta capacidade geral de combinação, esse resultado mostra que houve boa complementação entre ambos e que essa metodologia de Jinks e Pooni (1976) pode vir a complementar as informações fornecidas pelos cruzamentos dialelos.

TABELA 10 - Estimativas da probabilidade, em porcentagem (%) de obtenção de linhagens superiores ao parental com maior velocidade de germinação, na geração F_{∞} . ESAL - Lavras, MG, 1993.

Cult.*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	—	—	—	7,49	—	—	14,01	9,01	16,35	—
2		—	—	10,75	—	—	15,15	—	18,67	—
3			—	—	—	—	—	—	15,87	15,15
4				—	8,38	7,93	1,36	3,29	9,67	—
5					—	4,09	1,16	4,55	3,44	12,30
6						—	3,75	7,08	6,81	23,27
7							—	0,30	2,68	—
8								—	4,95	—
9									—	—
10										—

* 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - A-488; 4 - Carioca; 5 - Ouro; 6 - IPA-7419; 7 - ESAL-591; 8 - ESAL-609; 9 - ESAL-501 e 10 - Manteigão Fosco 11.

Se o objetivo é obter cultivares com grãos tipo 'Carioca' e tolerante à baixa temperatura na germinação, a melhor opção é usar a linhagem ESAL 501, que apresenta grãos semelhantes a 'Carioca' e que, como se observa na Tabela 10, pode

ser cruzada com os parentais tolerantes 'Rio Vermelho', 'Small White' ou 'A-488', que deverão propiciar uma boa probabilidade de se obter linhagens com grãos tipo 'Carioca' e com tolerância superior ao do parental mais tolerante. Se a preferência recair sobre a utilização da própria cultivar Carioca, a melhor opção é realizar o cruzamento com 'Small White'.

Todos esses resultados evidenciam a existência de variabilidade para a tolerância à baixa temperatura na germinação, como já constatado em outras ocasiões (Dickson, 1971; Dickson e Petzoldt, 1987; Von Pinho et al., 1991) e mais ainda, que há possibilidade de se obter materiais mais tolerantes que os existentes, o que mostra ser bem promissor o melhoramento para esse caráter.

5 CONCLUSÕES

1. Os parentais diferiram com relação à velocidade de germinação em baixa temperatura, destacando-se como mais tolerantes as cultivares Small White, A-488 e Rio Vermelho, e como mais sensíveis a 'Carioca', 'ESAL 609' e 'ESAL 591'. Constatou-se que esses parentais com maiores valores para o índice de velocidade de germinação foram, também, os que apresentaram menores porcentagens de germinação.

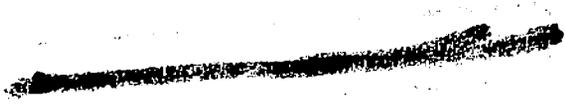
2. Não foi observado efeito dos cruzamentos recíprocos, tanto para a porcentagem de germinação, quanto para o índice de velocidade de germinação. Para ambos os caracteres, a ação gênica aditiva foi a predominante e ficou evidenciado a possibilidade de se obter linhagens mais tolerantes à baixa temperatura que as existentes, o que mostra ser bem promissor o melhoramento para esse caráter.

3. Na escolha de parentais para hibridação, visando obter menores valores do índice de velocidade de germinação, as principais opções são as cultivares A-488, Small White e Rio Vermelho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, R.W. The analysis of genetic-environmental interactions by means of diallel crosses. **Genetics**, Austin, v.41, p.305-318, 1956.
- AUSTIN, R.B.; MACLEAN, M.S.M. A method for screening *Phaseolus* genotypes for tolerance to low temperatures. **Journal of Horticultural Science**, Warwick, v.47, p.279-280, 1972.
- BAENZIGER, P.S.; PETERSON, C.J. Genetic variation: Its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H.T.; MURPHY, J.P. **Plant breeding in the 1990's**. North Carolina State University, 1991. p.69-100.
- BANNEROT, H. Cold tolerance in beans. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, New York, v.22, p.81-84, 1979.
- CAMBRAIA, K.L.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Identificação de cultivares de feijão com grãos grandes e pequenos possuindo genótipos de compatibilidade $dl_1dl_1dl_2dl_2$. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4, Londrina, 1993. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1993. n.p.
- CAMPOS, F.V.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Controle genético da emergência em baixa temperatura na cultura do feijoeiro. In: PROJETO FEIJÃO, Viçosa, 1992. Relatório 88/92, Viçosa: EPAMIG, 1992. p.97-100.
- CHUNG, J.H.; STEVENSON, E. Diallel analyses of the genetic variation in some quantitative characters in dry beans. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.16, p.223-231, May 1973.
- COPELAND, L.O. **Principles of seed science and technology**. Minneapolis: Burgess, 1976. 369p.
- CRUMPACKER, D.W.; ALLARD, R.W. A diallel cross analysis of heading date in wheat. **Hilgardia**, California, v.32, n.6, p.275-319, 1962.



- DAVIS, D.W.; FRAZIER, W.A. The incidence of three abnormalities in F₂ progeny of crosses between two bushes and Blue Lake derived bush snap beans. **Annual Report Bean Improvement Cooperative**, v.7, p.14-16, 1964.
- DAVIS, D.W.; FRAZIER, W.A. Inheritance of some growth habit components in certain types of bush lines of *Phaseolus vulgaris* L. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, New York, v.88, p.384-391, 1966.
- DEAKIN, J.R. Association of seed color with emergence and seed yield of snaps beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.99, n.2, p.110-114, Mar./Apr. 1974.
- DEBOUCK, D.G.; TOHME, J. Implications for bean breeders of studies on the origin of common beans, *Phaseolus vulgaris* L. In: CURRENT TOPICS IN BREEDING OF COMMON BEAN. Cali: CIAT, 1989. p.3-47. (CIAT Working Document, 47).
- DICKSON, M.H. Breeding beans, *Phaseolus vulgaris* L., for improved germination under unfavorable low temperature conditions. **Crop Science**, Madison, v.11, n.6, p.848-850, Nov./Dec. 1971.
- DICKSON, M.H. Diallel analysis of seven economic characters in snap beans. **Crop Science**, Madison, v.7, n.2, p.121-124, Mar./Apr. 1967.
- DICKSON, M.H. Cold tolerance in lima beans. **Hort Science**, Alexandria, v.8, n.5, p.410, Oct. 1973.
- DICKSON, M.H.; BOETTGER, M.A. Emergence, growth and blossoming of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at suboptimal temperatures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.109, n.2, p.257-260, Mar./Apr. 1984.
- DICKSON, M.H.; PETZOLDT, R. Inheritance of low temperature tolerance in beans at several growth stages. **Hort Science**, Alexandria, v.22, n.3, p.481-483, June 1987.
- DOBLEN, W.H.; AST, A.; CORRÉ, W.J. The influence of temperature on morphology and growth rate of bean seedlings. **Acta Botanica Neelandica**, Wageningen, v.33, n.2, p.185-193, May 1984.
- EDMOND, J.B.; DRAPALA, W.S. The effects of temperature, sand and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, New York, v.71, p.428-434, June 1958.
- FOOLAD, M.R.; BASSIRI, A. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield and yield components in a common bean diallel cross. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v.100, n.1, p.103-108, Feb. 1983.

- FREYMAN, S.; KEMP, G.A.; WILSON, D.B. Growth of bean accessions at various temperatures. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.59, n.1, p.81-85, Jan. 1979.
- GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, Raleigh, v.22, p.439-452, 1966.
- GERALDI, I.O.; MIRANDA FILHO, J.B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.11, n.2, p.419-430, jun. 1988.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Science**, Victoria, v.9, p.463-493, 1956.
- HAMBLIN, J. Plant breeding interpretations of the effects of bulk breeding on four populations of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, Wageningen, v.26, n.1, p.157-168, Feb. 1977.
- HARDWICK, R.C. The emergence and early growth of French and runner beans (*Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus coccineus* L.) sown on different dates. **Journal of Horticultural Science**, Warwick, v.47, p.395-410, 1972.
- HARDWICK, R.C.; ANDREWS, D.J. Selection for cold tolerance in *Phaseolus vulgaris* - yields of selected lines grown in warm and cool environments. **Annals of Applied Biology**, New York, v.95, n.2, p.249-259, July 1980.
- HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, Austin, v.39, p.789-809, 1954.
- HERNER, R.C. Germination under cold soil conditions. **Hort Science**, Alexandria, v.21, n.5, p.1118-22, Oct. 1986.
- HOLUBOWICZ, R. Bean selection for cold tolerance based on freezing germinated seeds and seedlings. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, New York, v.29, p.78-80, 1986.
- HOLUBOWICZ, R.; DICKSON, M.H. Cold tolerance in beans (*Phaseolus* spp.) as analyzed by their exotherms. **Euphytica**, Wageningen, v.41, n.1/2, p.31-37, Apr. 1989.
- JINKS, J.L.; HAYMAN, B.I. The analysis of diallel crosses. **Maize Genetics Cooperation Newsletter**, Ithaca, v.27, p.48-54, 1953.
- JINKS, J.L.; POONI, H.S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent. **Heredity**, Edinburgh, v.36, n.2, p.253-266, 1976.

- KEMP, G.A. Growth of primary leaves of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under suboptimal temperatures. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.58, n.1, p.169-174, Jan. 1978.
- KEMP, G.A. Initiation and development of flowers in beans under suboptimal temperature conditions. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.53, n.3, p.623-627, July 1973.
- KOOISTRA, E. Germinability of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at low temperature. **Euphytica**, Wageningen, v.20, n.2, p.208-213, May 1971.
- KOTOWSKI, F. Temperature relations to germination of vegetable seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, New York, v.23, p.176-184, 1926.
- MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. 3.ed. Oxford: Pergamon, 1982. 211p.
- MESQUITA, I.A. **Efeito materno na determinação do tamanho da semente do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Lavras: ESAL, 1989. 70p. (Tese - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- OEVEREN, A.J. van; STAM, P. Comparative simulation studies on the effects of selection for quantitative traits in autogamous crops: early selection versus single seed descent. **Heredity**, Edinburgh, v.69, n.4, p.342-351, 1992.
- OOIJEN, J.W. van. The predictive value of quantitative genetic parameters in autogamous crops: bias caused by intergenotypic competition. 1. F_{∞} - mean. **Euphytica**, Wageningen, v.44, n.1-2, p.81-94, Nov. 1989a.
- OOIJEN, J.W. van. The predictive value of quantitative genetic parameters in autogamous crops: bias caused by intergenotypic competition. 1. F_{∞} - variance. **Euphytica**, Wageningen, v.44, n.1-2, p.95-108, Nov. 1989b.
- PARK, H.G.; DAVIS, D.W. Inheritance of interocular cavitation in a six-parental diallel cross in snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount, v.101, n.2, p.184-189, 1976.
- POLLOCK, B.M. Imbibition temperature sensitivity of lima bean seeds controlled by initial seed moisture. **Plant Physiology**, Maryland, v.55, n.6, p.907-911, June 1969.
- POLLOCK, B.M.; ROOS, E.E.; MANALO, J.R. Vigor of garden bean seeds and seedlings influenced by initial seed moisture, substrate oxygen and imbibition temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.94, p.577-584, 1969.

- POLLOCK, B.M.; TOOLE, V.K. Imbibition period as the critical temperature sensitive stage in germination of lima bean seeds. **Plant Physiology**, Maryland, v.41, n.1, p.221-229, Jan. 1966.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos; PEREIRA FILHO, I. Choice of parents for dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. I. Interaction of mean components by generation and by location. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.11, n.2, p.391-400, jun. 1988.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos; PINTO, C.A.P. **Genética na agropecuária**. São Paulo: Globo. 1990. 359p.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos; ZIMMERMANN, M.J.O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.
- RAMALHO, M.A.P.; VENCOSKY, R. Estimação dos componentes da variância genética em plantas autógamas. **Ciência e Prática**, Lavras, v.2, n.2, p.117-140, jul./dez. 1978
- ROEGGEN, O. Variation in minimum germination temperature for cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.), cucumber (*Cucumis sativus* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.33, p.57-65, 1987.
- ROOS, E.E.; MANALO, J.R. Effect of initial seed moisture on snap bean emergence from cold soil. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.101, n.3, p.321-324, Mar. 1976.
- SANTOS, J.B. dos. **Controle genético de caracteres agronômicos e potencialidades de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o melhoramento genético**. Piracicaba: ESALQ, 1984. 223p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- SANTOS, J.B. dos; RAMALHO, M.A.P. Melhoramento do feijoeiro para as condições de várzeas. I. Avaliação de progênies no inverno 1986. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2, Goiânia, 1987. **Resumos...** Goiânia: CNPAF/EMBRAPA, 1987. n.p.
- SANTOS, J.B. dos; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Seleção de progênies de feijoeiro adaptadas ao inverno do sul de Minas Gerais. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 3, Vitória, 1990. **Resumos...** Vitória: EMCAPA, 1990. n.p.
- SANTOS, J.B. dos; RAMALHO, M.A.P.; CAMPOS, P.C.; ABREU, A.F.B. Controle genético da tolerância do feijoeiro às condições de outono e inverno do sul de Minas Gerais. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 3, Vitória, 1990. **Resumos...** Vitória: EMCAPA, 1990. n.p.

- SARAFI, A. A yield-component selection experiment involving american and iranian cultivars of the common bean. **Crop Science**, Madison, v.18, n.1, p.5-7, 1978.
- SEARLE, S.R. **Linear Models**. New York: Wiley, 1976.
- SCULLY, B.; WAINES, J.G. Germination and emergence response of common and tepary beans to controlled temperature. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, n.2, p.287-291, Mar./Apr. 1987.
- SINGH, S.P. Pattern of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Tabaceae). **Economic Botany**, New York, v.43, n.1, p.39-57, 1989.
- SINGH, S.P.; GUTIERREZ, J.A. Geographical distribution of the DL₁ and DL₂ genes causing hybrid dwarfism in *Phaseolus vulgaris* L., their association with seed size, and their significance to breeding. **Euphytica**, Wageningen, v.33, n.2, p.337-345, June 1984.
- SNAPPE, J.W. Predicting the frequencies of transgressive segregants for yield and yield components in wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v.62, n.2, p.127-134, 1982.
- SOKOL, M.J.; BAKER, R.J. Evaluation of the assumptions required for the genetic interpretation of diallel experiments in selfpollinating crops. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.57, p.1185-1191, 1977.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. 2.ed. New York: Mcgraw-Hill, 1980. 633p.
- THOMAS, R.J.; SPRENT, J.I. The effects of temperature on vegetative and early reproductive growth of a cold tolerant and a cold sensitive line of *Phaseolus vulgaris* L. 1. Nodulation, growth and partitioning of dry matter, carbon and nitrogen. **Annals of Botany**, New York, v.53, n.4, p.578-588, Apr. 1984.
- TOLEDO, J.F.F. de. **Biometrical studies of inbred lines and their hibrids**. Birmingham: University of Birmingham, 1986. 139p. (Ph.D. Thesis).
- TOLEDO, J.F.F. de. Predicting the inbreeding and the outcrossing potential of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] varieties. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.10, n.3, p.543-558, set. 1987.
- TOLEDO, J.F.F. de. Quantitative genetics in soybean breeding. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION IN SOJA, 4, Buenos Aires, 1989. p.909-914.

- TONGUTHAISRI, T. **Genetic analysis of morphological characteristics of field bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as expressed in a diallel cross.** East Lansing: Michigan State University, 1976. (Ph.D. Thesis). In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Resúmenes analíticos sobre frijol.** Cali: CIAT, 1980. v.5, p.181-182.
- TOOLE, V.K.; WESTER, R.E.; TOOLE, E.H. Relative germination response of some lima bean varieties to low temperatures in sterilized and unsterilized soil. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.58, p.153-159, 1951.
- TRILLER, C. **Previsão do potencial genético de cruzamentos em soja pela geração F₃.** Londrina: UEL/EMBRAPA/IAPAR, 1994. 133p. (Tese - Mestrado em Genética e Melhoramento).
- TULLY, R.E.; MUSGRAVE, M.E.; LEOPOLD, A.C. The seed coat as a control of imbibitional chilling injury. **Crop Science**, Madison, v.21, n.2, p.312-317, Mar./Apr. 1981.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.
- VIEIRA, C. **O feijoeiro-comum; cultura, doenças e melhoramento.** Viçosa: UFV, 1967. 220p.
- VON PINHO, R.G. **Tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à baixas temperaturas na fase de germinação e emergência.** Lavras: ESAL, 1990. 86p. (Tese - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- VON PINHO, R.G.; RAMALHO, M.A.P.; FRAGA, A.C.; SANTOS, J.B. dos. Tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à baixas temperaturas na fase de germinação e emergência. **Ciência e Prática**, Lavras, v.15, n.4, p.412-419, out./dez. 1991.
- WOLK, W.D.; HERNER, R.C. Chilling injury of germinating seeds and seedlings. **Hort Science**, Alexandria, v.17, n.2, p.169-73, Apr. 1982.
- WYATT, J.E. Seed coat and water absorption properties of seed of near isogenic snap bean lines differing in seed coat color. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.102, n.4, p.478-480, July 1977.