

JOÃO MARCOS DE ARAUJO

CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA DO FEIJOEIRO
(*Phaseolus vulgaris* L.) ÀS CONDIÇÕES QUÍMICAS DOS SO-
LOS SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Pós-Graduação
em Genética e Melhoramento de Plantas,
para obtenção do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1989

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA

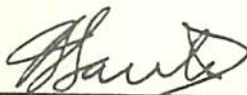
ESTADÍSTICA DE LA AGRICULTURA Y GANADERÍA
CENSO NACIONAL DE GANADERÍA
CANTON DE GUAYAS



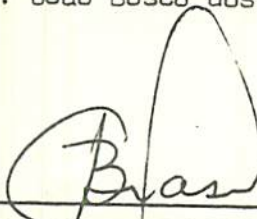
~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~
~~XXXXXXXXXXXX~~

CONTROLE GENÉTICO DA TOLERÂNCIA DO FEIJOEIRO (Phaseolus vulgaris L.)
AS CONDIÇÕES QUÍMICAS DOS SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO

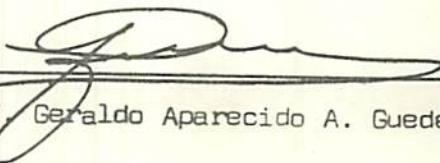
APROVADA EM 10 / 03 / 1989



Prof. João Bosco dos Santos



Prof. César Augusto Brasil P. Pinto



Prof. Geraldo Aparecido A. Guedes

Aos meus irmãos

OFEREÇO

Aos meus pais

Célio (em memória) e

Mariana

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS - ESAL, através do Departamento de Biologia, pela oportunidade concedida para a realização do curso.

À FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE MACHADO, mantenedora da ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA E CIÊNCIAS DE MACHADO - ESACMA, pelo apoio oferecido.

À COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor João Bosco dos Santos pela orientação, ensinamentos e, principalmente, pela sua amizade.

Ao professor Magno Antônio Patto Ramalho pelo acompanhamento durante o trabalho, sugestões e ensinamentos.

Ao professor Geraldo Aparecido de Aquino Guedes por sua colaboração e sugestões.

Ao professor César Augusto Brasil Pereira Pinto pelas sugestões.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Biologia pelos ensinamentos e convivência.

Aos colegas de trabalho da ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA E CIÊNCIAS DE MACHADO - ESACMA, pelo apoio e companheirismo.

À Laura Helena e Samuel pelas correções da dissertação.

Aos amigos José Eduardo, Iara, Patrícia, ângela, Jane Soares, Â
gelo, João Emílio, Hebe, Gisele e Lêda pelo apoio e amizade.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Solos sob vegetação de cerrado no Brasil	3
2.2. Efeito das condições químicas dos solos sob vegetação de cerrado nas plantas cultivadas	4
2.3. Avaliação da tolerância	5
2.4. Variabilidade das plantas quanto à tolerância à toxidez de alumínio	7
2.5. Mecanismos de tolerância	8
2.6. Controle genético da tolerância ao alumínio	9
2.7. Cruzamentos dialélicos	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Cultivares utilizadas	12
3.2. Obtenção dos híbridos F ₁	12
3.3. Substrato utilizado	13
3.4. Níveis de saturação de alumínio	14
3.5. Preparo e enchimento dos vasos	15
3.6. Delineamento experimental	15
3.7. Condução do experimento	15

	Página
3.8. Características avaliadas	17
3.9. Análises estatísticas e genéticas	17
3.9.1. Índices de tolerância	17
4. RESULTADOS	21
5. DISCUSSÃO	32
6. CONCLUSÕES	38
7. RESUMO	39
8. SUMMARY	41
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Cultivares de feijoeiro (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) utilizadas no dialelo. ESAL, 1986/87	13
2	Características químicas do substrato utilizado no experimento. ESAL, 1986/87	14
3	Adubação empregada no experimento para avaliação das 28 populações de feijoeiro (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) nos dois índices de saturação de alumínio. ESAL, 1986/87	16
4	Meia tabela dialélica com p cultivares e $p(p-1)/2$ híbridos F_1	18
5	Resumo da análise de variância em blocos casualizados, com a respectiva decomposição da soma de quadrados de populações nos componentes aditivo e de dominância, com base nas médias de r repetições, segundo MORLEY JONES (1965) e, capacidade geral e específica de combinação conforme o método e apresentado por GRIFFING (1956). ESAL, 1988/89	19

6	Resumo das análises de variância para peso seco do sistema radicular, parte aérea e total (parte aérea + sistema radicular), obtidas na avaliação das 28 populações de feijoeiro (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), em dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, 1988/89	22
7	Resultados médios do peso seco da parte aérea (gramas), obtidos para as 28 populações de feijoeiro (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) avaliadas em dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, 1988/89	23
8	Resultados médios do peso seco do sistema radicular (gramas), obtidos para as 28 populações de feijoeiro (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), avaliadas em dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, 1988/89	24
9	Resultados médios do peso seco total (sistema radicular + parte aérea), obtidos para as 28 populações de feijoeiro (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), avaliadas em dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, 1988/89	26
10	Índices médios de tolerância ao alumínio tóxico para as 28 populações estudadas. ESAL, 1988/89	28
11	Resumo das análises de variância de $(\hat{C}_1 - \hat{V}_1)$, referentes ao peso seco do sistema radicular, peso seco da parte aérea e peso seco total. ESAL, 1988/89	29
12	Resumo das análises de variância dos índices de tolerância relativos ao peso seco do sistema radicular, peso seco da parte aérea e peso seco total, com a respectiva decomposição de populações nos componentes aditivo e de dominância, e a decomposição dos híbridos nas capacidades geral e específica de combinação. ESAL, 1988/89	30

abela

Página

13	Estimativas da capacidade geral de combinações relativas aos índices de tolerância das características pesos secos da parte aérea, peso seco do sistema radicular e total. ESAL, 1988/89	31
14	Estimativas da "herdabilidade" e do erro associado a estimativa, para as características avaliadas, considerando os índices de tolerância. ESAL, 1988/89	31

1. INTRODUÇÃO

Os solos sob vegetação de cerrado no Brasil representam um grande potencial agrícola em função da grande área que situa em torno de 20% do território nacional e também pela sua topografia, que na maioria dos casos favorece a mecanização e conseqüentemente o cultivo de áreas mais extensas. Estes solos, entretanto, são normalmente ácidos, com baixo teor em fósforo, cálcio e magnésio, e alta saturação de alumínio, sendo este um dos principais fatores que limitam o aumento da produção agrícola. Para as plantas, a alta saturação de alumínio acarreta conseqüências como: restrição do crescimento das raízes; interferência na absorção de nutrientes; afeta transporte e metabolismo de diversos elementos e provoca diminuição na absorção de água (5, 18, 47, 64, 76).

A aplicação de corretivos para a neutralização do alumínio trocável é uma prática que tem sido amplamente utilizada, porém, nem sempre é viável, principalmente quando se refere ao alumínio tóxico presente nas camadas mais profundas. Contudo, o uso da calagem associada à seleção de genótipos que toleram altos níveis de saturação de alumínio e outros elementos tóxicos é a alternativa que pode tornar muito mais eficiente a utilização desses solos.

Existem evidências quanto à variabilidade das plantas para a tolerância ao alumínio tóxico, havendo diferenças marcantes entre as espécies e

dentro das espécies. No caso específico do feijoeiro, vários trabalhos conduzidos no Brasil e no Exterior mostraram que há suficiente variabilidade para tolerância ao alumínio de modo a antever sucesso com a seleção (21, 38, 56, 57, 63, 65, 76).

Apesar das inúmeras informações disponíveis a respeito de diferenças entre as cultivares de feijoeiro com relação à tolerância ao alumínio tóxico, pouco se conhece sobre o controle genético deste caráter, e que é importante, principalmente para direcionar o trabalho do melhorista.

Diante destes fatos, foi conduzido o presente trabalho com o objetivo de fornecer subsídios sobre o controle genético da tolerância do feijoeiro à alta saturação de alumínio em solos sob vegetação de cerrado, a partir de um cruzamento dialélico e também procurar identificar populações segregantes mais promissoras para a obtenção de cultivares melhores adaptadas ao cultivo nestas regiões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Solos sob vegetação de cerrado no Brasil

A área ocupada pelos solos sob vegetação de cerrado no Brasil está em torno de 1,5 e 2,0 milhões de km² MALAVOLTA et alii (50), e apresenta certas características químicas e físicas que prejudicam a elevação da produção agrícola. A toxidez de alumínio é o principal fator que limita o crescimento das plantas nestes solos, e o problema se agrava quando a acidez é elevada. Os teores de cálcio e magnésio são extremamente baixos, o que contribui para o elevado nível de saturação de alumínio LOPES (47). O pH varia em torno de 4,8 e 5,2 em pelo menos 50% da área total. Com isso, a disponibilidade do alumínio aumenta e decresce a de outros elementos como o fósforo; além disso os íons alumínio combinam-se com os dos nutrientes causando sua precipitação ou diminuição na sua solubilidade (20, 50, 53).

Esses problemas podem ser resolvidos com a aplicação de corretivos e a adição de adubos químicos. Porém, nem sempre isto é viável em razão do custo dos corretivos em algumas regiões e, também, quando é necessário a redução do alumínio tóxico no subsolo FOY (19) e SILVA (76).

A retenção de água é outro fator de importância nesses solos. Apesar de possuir um elevado percentual de argila, até 83%, eles comportam-se como arenosos, com percolação rápida, existindo um déficit hídrico nos perío-

dos mais críticos das exigências das plantas LOPES (46). Por outro lado, nas extensas áreas planas, essa característica é favorável nas épocas de maior precipitação.

2.2. Efeito das condições químicas dos solos sob vegetação de cerrado nas plantas cultivadas

Nos solos sob vegetação de cerrado, como a acidez é acentuada, a toxicidade causada pelo alumínio não é um fato isolado, mas sim um somatório de fatores complexos, que interferem no desenvolvimento de diferentes espécies vegetais cultivadas, afetando diferentes mecanismos fisiológicos (3, 12, 40, 42).

O alumínio é encontrado nos espaços intercelulares, intracelulares, principalmente no núcleo, podendo ainda ser encontrado no interior de mitocôndrias (11, 50, 51, 54, 59, 83).

O mecanismo pelo qual ele prejudica o desenvolvimento das plantas não é ainda muito conhecido. Somente algumas espécies de maior valor econômico, dentre elas o feijoeiro, foram estudadas e se constataram alterações morfológicas e fisiológicas da planta.

Em avaliações de cultivares de trigo e cebola, em solução nutritiva com alto teor de alumínio, têm sido observados danos morfológicos e anatômicos nas raízes laterais e na extremidade principal CLARKSON (8) e FLEMING & FOY (15). Esses danos consistem, principalmente, na redução do crescimento destas raízes, e se devem a distúrbios na divisão celular (8, 35, 68). A inibição da mitose em raízes de cebola foi verificada por CLARKSON (8), utilizando solução nutritiva com níveis elevados de alumínio, e constatou que seu efeito se deu na replicação do DNA. MATSUMOTO et alii (52) e NAIDOO et alii (59) verificaram que o alumínio combina-se com o fósforo do ácido nucléico e, tam-

bém, com os lipídeos da membrana plasmática, afetando desse modo a divisão celular.

Tem sido demonstrado que a toxidez de alumínio afeta a absorção, translocação e utilização de vários nutrientes, principalmente cálcio, fósforo, potássio e magnésio FOY (19) e FOY et alii (22). Em solução nutritiva com concentrações crescentes de alumínio, NOGUEIRA (61) sugeriu que os efeitos do alumínio são de natureza metabólica sobre o desenvolvimento do sorgo, reduzindo a absorção de cálcio e magnésio. A absorção de fósforo e potássio também pode ser reduzida com o aumento do alumínio no substrato MALAVOLTA et alii (50).

O efeito inibidor do alumínio na absorção, provavelmente, é consequência da sua competição com os outros íons por sítios de absorção, sendo que o mesmo se une fortemente às cargas negativas do sistema radicular KLIMASHEVSKII & DEDOV (41). Esta inibição pode estar associada também à ligação do alumínio com proteínas ou lipídeos da membrana plasmática, provocando alterações na sua estrutura e na permeabilidade para sais e água HECH-TBUCHOLZ & FOY (32); HORTON & EDWARDS (33).

Deve-se salientar que em pH com valores abaixo de 5,2 a ação direta dos íons hidrogênio também afeta o desenvolvimento das plantas, além do efeito indireto que altera a disponibilidade dos elementos do solo, tanto os essenciais como os não essenciais, que é o caso do alumínio tóxico.

2.3. Avaliação da tolerância

Entre numerosos trabalhos que foram conduzidos para avaliar a reação de plantas à toxidez de alumínio existem duas alternativas básicas, ou seja, a cultura em solos ácidos com alto índice de saturação de alumínio ou em solução nutritiva. Na primeira alternativa vários níveis de calcário são utilizados para se estabelecer diferentes índices de saturação de alumínio e, as-

sim, permitir avaliar os diferentes genótipos nos vários níveis. Isto, muitas vezes, apresenta limitações como por exemplo, manter um mesmo nível de toxidez de alumínio no solo durante todo o trabalho. A solução nutritiva é um método rápido de se fazer avaliações, permitindo testar um grande número de genótipos de uma só vez. Porém os resultados obtidos com esta técnica nem sempre refletem as condições encontradas normalmente nos solos sob vegetação de cerrado.

Nas avaliações de materiais um aspecto importante é a escolha das características que refletem a reação dos mesmos à presença do alumínio tóxico. O peso seco das raízes e o seu comprimento parecem ser as características mais úteis para avaliação das cultivares, em razão do sistema radicular ser diretamente afetado pelos efeitos tóxicos do alumínio. O comprimento da parte aérea e o peso seco da mesma também são empregados, pois parecem refletir diretamente os efeitos do alumínio no sistema radicular, assim como outras características como produção de grãos.

Diversos caracteres do feijoeiro têm sido utilizados para a avaliação da tolerância de cultivares ao alumínio, entre eles o peso seco da parte aérea, sistema radicular e total (sistema radicular + parte aérea) (23, 45, 63, 65). A produção de grãos foi utilizada também para avaliar a tolerância do feijoeiro (38, 56, 57, 65). Baseando no crescimento da parte aérea e sistema radicular ou no peso seco, tanto da parte aérea quanto das raízes, foram propostos índices de tolerância, considerando o desenvolvimento das plantas em condições de alta e baixa saturação de alumínio HOWELLER & CADAVID (34) e LIMA et alii (45).

A utilização de características da parte aérea que identificam a reação de cultivares ao alumínio tóxico é importante, principalmente, para avaliação em campo, já que é inviável a obtenção de raízes nessas condições. NOBLE et alii (60) cultivando feijoeiro em solução nutritiva e avaliando o comprimento das raízes e, posteriormente, avaliando a parte aérea, quando os mesmos genótipos foram cultivados em campo, verificaram que algumas cultivares selecionadas em campo se classificaram de forma idêntica à classificação obti-

da na solução nutritiva. Isto mostra a possibilidade do emprego da parte aérea para avaliação da tolerância à toxidez de alumínio, pelo menos em feijoeiro.

2.4. Variabilidade das plantas quanto à tolerância à toxidez de alumínio

Muitos trabalhos tiveram como objetivo estudar a tolerância das plantas à toxidez de alumínio, alguns utilizando solução nutritiva e outros solos das áreas sob vegetação de cerrado, para determinar a variabilidade genética existente dentro de diversas espécies cultivadas (2, 15, 21, 24, 34, 38, 45, 56, 57, 61, 63, 65, 69).

No caso do feijão têm sido verificadas cultivares mais tolerantes ao alumínio, e que apresentam um bom desenvolvimento do sistema radicular, em solos ácidos e com alta saturação de alumínio FOY et alii (21). Esses autores verificaram que algumas delas como 'Light Red Kidney', 'California Red', 'Tennessee Green Pod', 'Contender', 'Dade' e outras são tolerantes, ao passo que 'Gratiot', 'Sanilac', 'Harvester', 'Romano' e outras são muito sensíveis.

Em avaliações realizadas no Brasil há também indicações de várias cultivares tolerantes ao alumínio tóxico. As cultivares 'Carioca 1030', 'Mulatinho 46' e 'Iguaçu' são relacionadas como tolerantes ao alumínio e manganês, enquanto 'BAT 47', 'BAT 58', 'BAT 96', 'BAT 97' e 'Brasil 349' são sensíveis VIEIRA (82). De 36 cultivares de feijoeiro estudados por MALAVOLTA et alii (49), a 'Iguaçu', 'Jalo', 'Mulatinho Paulista', 'P 704' e 'Roxo 760', comportaram-se como tolerantes ao alumínio tóxico. As cultivares 'Carioca 1030', 'Ricopardo 896' e 'IPA I', são apontadas por RAMALHO et alii (65) como sendo tolerantes ao alumínio e possuindo o mesmo desempenho da cultivar 'Dade', considerada como padrão de tolerância. Além das cultivares 'Carioca 1030' e 'Mulatinho 46', RAMALHO et alii (66) verificaram que a cultivar 'IPA 7419' também

foi tolerante, sendo que a 'ESAL 66' e 'Rico 23', foram sensíveis. Num trabalho de avaliação de quinze cultivares de feijoeiro a diferentes níveis de calagem, COSTA (9) verificou que as cultivares 'Negrito 897', 'Rio Vermelho', 'Rio Tibagi', 'Milionário 1732' e 'Carioca 1030' mostraram-se tolerantes a um índice de saturação de alumínio em torno de 20%, porém OLIVEIRA (63) indica as cultivares 'Carioca 1030', 'Riopardo 896' e 'Rio Tibagi' como sendo sensíveis ao alumínio. Estas divergências nos resultados são devidas, principalmente, às condições experimentais empregadas e o grupo de materiais envolvidos, já que a tolerância é uma medida relativa.

2.5. Mecanismos de tolerância

As plantas podem responder à toxidez de alumínio através de diferentes mecanismos. As plantas podem impedir a penetração do alumínio tóxico nas células, ou o mesmo penetra e as plantas desencadeiam um processo de desintoxicação, porém, o mecanismo exato não está ainda bem esclarecido.

Certas linhagens de trigo, arroz, cevada, milho e centeio, tolerantes ao alumínio, possuem a capacidade de elevar o pH ao redor do sistema radicular, e assim reduzem a solubilidade do alumínio e, conseqüentemente, sua toxidez. As sensíveis ao alumínio nestas espécies diminuem ou mantêm o pH da solução, permanecendo expostas a altas concentrações de alumínio (7, 18, 34).

Se ocorrer penetração de alumínio nas células, é possível que as plantas formem quelatos de alumínio com ácidos orgânicos ou fenóis, prevenindo assim a precipitação do fósforo. LEE & FOY (44), estudando o feijoeiro, relataram que a alta concentração de alumínio reduziu acentuadamente a concentração de ácidos orgânicos na cultivar 'Romano', sensível ao alumínio, quando comparada com a cultivar 'Dade', tolerante e que possui a capacidade de se desintoxicar do alumínio.

Um outro possível mecanismo de tolerância do feijoeiro à toxidez de alumínio, é a capacidade das plantas em se desenvolverem em condições de baixa disponibilidade de fósforo. Algumas cultivares como 'Caraota 260', 'Diacol Nutibara' e 'Manteigão Fosco 11' foram sensíveis ao alumínio, em condições de baixa disponibilidade de fósforo, entretanto, as cultivares 'Carioca 1030', 'Ricopardo 896' e 'Costa Rica' foram tolerantes, num ensaio conduzido por SALINAS & SANCHES (71). Já MIRANDA & LOBATO (57) verificaram que apenas a cultivar 'Ricopardo 896' era mais produtiva nestas condições, quando comparada às cultivares 'Carioca 1030', 'Rico 23', 'Diacol Nutibara' e 'Jalo'. Além do fósforo, a alta capacidade de absorção de outros elementos como o cálcio, potássio e magnésio, possivelmente também, estão relacionados com a tolerância do feijoeiro ao alumínio (4, 22, 29).

2.6. Controle genético da tolerância ao alumínio

Vários pesquisadores procuraram elucidar o controle genético da tolerância à toxidez de alumínio em muitas espécies, porém esses resultados às vezes são contraditórios, demonstrando que o controle é mais complexo do que se pensava.

Em trigo, a reação ao alumínio para algumas cultivares parece ser controlada por um único gene, mas pode ocorrer o envolvimento de dois ou três genes em outras cultivares FOY 18). Do cruzamento da cultivar 'Drumchamp', moderadamente tolerante, com a 'Brevor', sensível, foram observadas duas classes de plantas na descendência conduzida até a geração F₄, através do método da população KERRIDGE & KRONSTRAD (40). A variação descontínua observada sugeriu que a tolerância ao alumínio foi controlada qualitativamente, porém, devido a reação intermediária do primeiro progenitor, admite-se a ocorrência de outros genes principais e de genes modificadores.

Também em trigo, LAFEVER et alii (42), através de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis, concluíram que a tolerância ao alumínio era condicionada por um único alelo dominante, mas sugeriram a possibilidade de genes de menores efeitos estarem envolvidos no controle do caráter. Relataram também que cultivares tolerantes de outras regiões, possivelmente, possuem genes diferentes para tolerância ao alumínio.

As evidências dos mecanismos de controle genético da tolerância ao alumínio em milho não são coincidentes, e se devem possivelmente, aos diferentes materiais utilizados em cada caso e, também, às interações das ações gênicas com as condições experimentais particulares de cada estudo. Em trabalhos onde foram avaliadas linhagens americanas, ficou evidenciado que a tolerância foi controlada por um único gene com uma série de alelos múltiplos RHUE et alii (67) e STOCKMEYER et alii (79). Num estudo empregando-se linhagens brasileiras, GARCIA & SILVA (26) e SILVA (77) concluíram que o caráter foi controlado por um alelo dominante, com possibilidade de ocorrência de genes modificadores. Já, MAGNAVACA (48), trabalhando com gerações F₂, RC₁₁ e RC₁₂, derivadas de cruzamentos entre linhagens sensíveis e tolerantes, verificou que o efeito genético aditivo explica melhor a variação genética que o efeito de dominância, embora este tenha sido estatisticamente significativo. Os efeitos de epistasia foram pequenos quando comparados com outros efeitos genéticos. A distribuição de frequência das plantas F₂ foi contínua, unimodal e típica para herança quantitativa com uma tendência geral para sensibilidade ser dominante sobre a tolerância. Porém, GALVÃO & SILVA (25) estimaram os componentes da variância genética para tolerância ao alumínio em populações de milho, concluindo que a variância de dominância foi o componente mais importante da variabilidade genética.

Em soja, alguns pesquisadores sugeriram que o caráter deve ser de natureza quantitativa, ficando evidente que a tolerância não é controlada por um único gene HANSON & KAMPRATH (29) e FONSECA Jr. (16).

2.7. Cruzamentos dialélicos

Para se estudar o controle genético de diversos caracteres em plantas autógamas existem vários procedimentos. Entre eles os cruzamentos dialélicos se destacam, por utilizarem simultaneamente várias cultivares, e permitem, desse modo, ter-se um conhecimento da maior amplitude da variação presente nas cultivares.

Os cruzamentos dialélicos correspondem a todos os cruzamentos possíveis de um grupo de (p) cultivares, tomadas duas a duas. A partir desses cruzamentos são obtidos $p(p-1)/2$ híbridos simples possíveis, e $p(p-1)/2$ recíprocos dos híbridos simples. Além desses híbridos são avaliadas as (p) cultivares, perfazendo a tabela dialélica completa, com (p^2) tratamentos experimentais. Esta tabela completa não é o único esquema empregado, e a exclusão dos recíprocos é muito utilizada no feijoeiro, principalmente, porque os efeitos recíprocos são desprezíveis para a maioria dos caracteres (17, 26, 70) e, neste caso, resulta em $p(p+1)/2$ tratamentos experimentais.

Entre os modelos para análise das tabelas dialélicas, o proposto por JINKS & HAYMAN (36) permite obter os componentes de variância genética e estimar parâmetros que fornecem informações sobre o controle genético dos caracteres. O potencial de uma cultivar a ser utilizada em cruzamento para condução do programa de melhoramento é determinado principalmente através da sua capacidade de combinação, que pode ser estimada pela metodologia desenvolvida por GRIFFING (27). Dada a utilidade dos cruzamentos dialélicos, eles têm sido amplamente empregados em várias culturas e, até mesmo no feijoeiro, para o estudo do controle genético de diversos caracteres (6, 13, 17, 72, 73, 74).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Cultivares utilizadas

No presente trabalho foram utilizadas as sete cultivares de feijoeiro relacionadas na Tabela 1. A escolha das cultivares foi feita com base na tolerância das mesmas às condições químicas dos solos sob vegetação de cerrado, além de outros caracteres desejáveis. Entre esses caracteres, pode-se citar a boa aceitação no mercado da cultivar 'Carioca 1030', o porte arbustivo das cultivares 'Rio Tibagi' e 'Negrito', e a 'TO', que apesar de ser uma cultivar introduzida e não adaptada a cultivo, é portadora do alelo dominante Mex. 2, que confere resistência a um grande número de raças de Colletotrichum lindemuthianum, causador da antracnose do feijoeiro VIEIRA (82).

3.2. Obtenção da geração F₁

As sete cultivares foram ^{que} inter cruzadas no esquema dialélico em todas as combinações possíveis, obtendo-se 21 híbridos sem considerar os recíprocos. Os cruzamentos artificiais foram realizados conforme metodologia apresentada por VIEIRA (81).

TABELA 1 - Cultivares de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) utilizadas no diale
lo. ESAL, Lavras, MG, 1986/87

Cultivares	Hábito de crescimento ^{1/}	Cor do tegumento	Grau de tolerância
Carioca 1030	III	Bege c/ listras marrom	Tolerante ^{2/}
IPA I	III	Bege	Tolerante ^{2/}
Mulatinho 46	III	Bege	Tolerante ^{3/}
Negrilo	II	Preto	Sensível
Ricopardo 896	III	Pardo escuro	Tolerante ^{2/}
Rio Tibagi	II	Preto	Sensível ^{3/}
TO	III	Bege rajado de marrom e brilhante	-

^{1/} II e III indicam hábito de crescimento indeterminado com hastes curtas e in
determinado com hastes compridas, respectivamente.

^{2/} RAMALHO et alii (66)

^{3/} OLIVEIRA (63)

3.3. Substrato utilizado

Foi coletado um solo típico sob vegetação de cerrado no municí-
pio de Lavras - MG, cujas características químicas são apresentadas na Tabe-
la 2. Uma camada de 0,20 m foi retirada, após a remoção da cobertura vegetal,
sendo o solo peneirado depois de seco. As análises física e química foram
realizadas no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultu-
ra de Lavras.

TABELA 2 - Características químicas do substrato utilizado no experimento.
ESAL, Lavras, MG, 1986/87 ^{1/}

	Sem Calagem	Com Calagem
pH em água	4,75 AcM	5,3 AcM
P (ppm)	1,5 B	1,0 B
K (ppm)	34,0 M	36,67 M
Ca (meq/100 cc)	0,64 B	1,33 B
Mg (meq/100 cc)	0,13 B	0,8 M
Al (meq/100 cc)	0,93 A	0,1 B
H + Al (meq/100 cc)	6,39 A	2,6 M
S (meq/100 cc)	0,84 B	2,23 M
t (meq/100 cc)	1,8 B	2,33 M
T (meq/100 cc)	7,26 M	4,83 M
m (%)	51,1 A	4,67 B
V (%)	13,3 MB	45,67 B

^{1/} Valores médios obtidos de várias análises.

3.4. Níveis de saturação de alumínio

Para correção do solo foi utilizado calcário calcinado com 108% de PRNT, contendo 40% de CaO e 15% de MgO, empregando-se o equivalente a 2.500 kg de calcário por hectare, para a redução do índice de saturação de alumínio para 4,7%, sendo este um dos níveis empregados na avaliação das populações. O outro nível correspondeu ao índice de saturação encontrado no solo.

3.5. Delineamento experimental

Foi empregado o delineamento blocos casualizados com três repetições, utilizando-se do esquema fatorial 2×28 e correspondeu às 21 populações híbridas F_1 , às sete cultivares, e aos dois níveis de saturação de alumínio, alto e baixo. A parcela experimental foi representada por um vaso contendo duas plantas.

3.6. Preparo e enchimento dos vasos

Foi realizada a mistura do solo com o calcário, manualmente, para cada vaso. A mistura recebeu a adição de 100 ml de água destilada para favorecer a reação de neutralização do alumínio trocável. Em seguida, foi acondicionada em sacos de polietileno por um período de 20 dias. O substrato que não recebeu correção também foi acondicionado em sacos de polietileno de modo semelhante.

Após o período de incubação, os vasos plásticos não drenados foram enchidos com o substrato. As dimensões do vaso eram 0,19 m de altura, 0,18 m de diâmetro inferior e 0,22 m de diâmetro superior, perfazendo uma capacidade de 5 kg do substrato.

3.7. Condução do experimento

A semeadura foi realizada em três períodos diferentes, sendo que a primeira repetição foi instalada no dia 20/01/87, a segunda no dia 23/09/87

e a terceira no dia 06/04/88. Cada vaso recebeu cinco sementes, e aos 20 dias após a semeadura, procedeu-se um desbaste, mantendo-se duas plantas. A adubação recomendada com a relação dos fertilizantes está apresentada na Tabela 3.

TABELA 3 - Adubação empregada no experimento para avaliação das 28 populações de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) nos dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, Lavras, MG, 1986/87.

Fonte	Elemento	Quantidade (ppm) ^{1/}
Sulfato de amônio	Nitrogênio	300 ^{2/}
Super triplo	Fósforo	120
Cloreto de potássio	Potássio	150
Bórax	Boro	0,5
Sulfato de cobre	Cobre	1,5
Molibdato de amônio	Molibdênio	0,1
Sulfato de zinco	Zinco	5

^{1/} Valores fornecidos pelo Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras

^{2/} Dividido em três aplicações, na semeadura, 20 e 40 dias após a semeadura.

A água fornecida às plantas durante o desenvolvimento vegetativo era destilada e adicionada diariamente aos vasos. A irrigação ocupou apenas 40% do volume total de poros FREIRE (23), e o controle foi determinado por meio de pesagens diárias, até o final do ciclo das plantas.

3.8. Características avaliadas

As plantas foram coletadas no final do ciclo e as seguintes características foram avaliadas:

- a) Peso seco do sistema radicular
- b) Peso seco da parte aérea
- c) Peso seco total (parte aérea + sistema radicular)

Os pesos secos foram obtidos após a secagem em estufa à temperatura de 60-65°C, até o material atingir peso constante.

3.9. Análises estatísticas e genéticas

Inicialmente foi realizada a análise de variância para cada característica avaliada, considerando os efeitos das populações e níveis de saturação de alumínio como fixos STEEL & TORRIE (78).

3.9.1. Índice de tolerância

Devido à existência de diferenças em termos de crescimento das plantas, e para que fosse possível a comparação entre as diferentes populações estudadas, foi obtido um índice de tolerância. O índice de tolerância foi calculado através da seguinte expressão LIMA et alii (45):

$$I_i = \frac{R_i}{\bar{R}}$$

Onde:

I_i : índice de tolerância da população i

R_i : rendimento da população i no solo com alto nível de saturação de alumínio

\bar{R} : rendimento médio das 28 populações no solo com baixo nível de saturação de alumínio.

Utilizando-se os índices de tolerância, e para conhecer a variação genética das populações avaliadas, empregou-se o método de HAYMAN (31), desenvolvido para tabela dialélica completa e modificada por JONES (37), para meia tabela. As capacidades geral e específica de combinação das cultivares foram estimadas com base no comportamento dos 21 híbridos F_1 , empregando-se o método 4 de GRIFFING (27). Na Tabela 4 é apresentado um esquema da meia tabela dialélica e na Tabela 5, os resumos das análises de variância para os métodos de HAYMAN (31) e GRIFFING (27).

Apesar de se tratar de modelo fixo, foram estimadas as "herdabilidades" no sentido restrito, baseando-se nas esperanças de quadrado médio da capacidade geral de combinação e do erro experimental GRIFFING (27), para as três características estudadas. Os erros para a estimativa das "herdabilidades" foram obtidos através da expressão apresentada por VELLO & VENCOSKY (80).

TABELA 4 - Meia tabela dialélica com p cultivares e $p(p-1)/2$ híbridos F_1 .^{1/}

Cultivares i	Cultivares j				
	1	2	3	p
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1p}
2		Y_{22}	Y_{23}	Y_{2p}
3			Y_{33}	Y_{3p}
.					
.					
.					
p					Y_{pp}

^{1/} Y_{ij} para $i = j$, refere-se ao comportamento de cada cultivar, e para $i < j$, refere-se ao comportamento de cada F_1 .

TABELA 5 - Resumo da análise de variância em blocos casualizados, com a respectiva decomposição da soma de quadrados de populações nos componentes aditivo e de dominância, com base nas médias de r repetições, segundo JONES (37) e, capacidade geral e específica de combinação, conforme método 4 de GRIFFING (27).

Causas de variação	G.L.	SQ $\frac{1}{r}$	QM	F
Blocos	r - 1	S ₁	QM ₁	QM ₁ /QM ₁₀
Populações P	$[p(p+1)/2] - 1$	S ₂	QM ₂	QM ₂ /QM ₁₀
Variância aditiva	p - 1	$S_3 = \left[\sum_{i=1}^n A_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n A_i \right)^2 / p \right] / (p+2)$	QM ₃	QM ₃ /QM ₁₀
Variância dominante		S ₄ = S ₅ + S ₆ + S ₇	QM ₄	QM ₄ /QM ₁₀
Híbridos x Paternos	1	$S_5 = [2Y_{..} - (p+1)Y_{.}]^2 / p(p^2-1)$	QM ₅	QM ₅ /QM ₁₀
Dominância Paternos	p - 1	$S_6 = \left[\sum_{i=1}^n D_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 / p \right] / (p^2-4)$	QM ₆	QM ₆ /QM ₁₀
Capacidade específica de combinação	$p(p-3)/2$	S ₇ = S ₂ - (S ₃ + S ₅ + S ₆)	QM ₇	QM ₇ /QM ₁₀
C.G.C.	p - 1	$S_8 = 1/(p-2) \sum_i Y_{i.}^2 - 4Y_{..}^2 / p(p-2)$	QM ₈	QM ₈ /QM ₁₀
C.E.C.	$p(p-3)/2$	$S_9 = \sum_{i < j} Y_{ij}^2 - 1/(p-2) \sum_i Y_{i.}^2 + 2Y_{..}^2 / (p-1)(p-2)$	QM ₉	QM ₉ /QM ₁₀
Erro	$(r-1) \left[\frac{p(p+1)}{2} - 1 \right]$	S ₁₀	QM ₁₀ /r	

1/ $A_i = \sum_j Y_{ij} + Y_{ii}$, para a i-ésima linha da tabela dialélica, após completada (Tabela 4), repetindo-se Y_{ij} nos locais dos recíprocos correspondentes

$d_i = 2A_i - (p+2)Y_{ii}$, para a i-ésima linha da tabela dialélica

$Y_{.} = \sum_i Y_{ii}$; $\sum Y_{i.} = \sum_j Y_{ij}$; $Y_{..} = \sum_{i < j=1} Y_{ij}$

As correlações fenotípica (r_F) e genética aditiva (r_A) entre o peso seco da parte aérea e o peso seco do sistema radicular foram estimadas baseando-se apenas no comportamento dos híbridos F_1 , e foram calculadas através da expressão apresentada por FALCONER (14). Para obtenção da covariância fenotípica e genética aditiva entre os caracteres, utilizou-se o método proposto por KEMPTHORNE (39).

4. RESULTADOS

Observaram-se diferenças altamente significativas para níveis de saturação de alumínio para as três características (Tabela 6). Isto pode ser verificado, comparando-se as médias do peso seco da parte aérea, sistema radicular e peso seco total, das plantas cultivadas no índice mais alto e mais baixo de saturação de alumínio, que tiveram um acréscimo na matéria seca de 34,0%, 28,0% e 31,2%, respectivamente, para os tratamentos que receberam calagem (Tabelas 7, 8 e 9).

As interações Populações x Níveis não foram significativas para os três caracteres indicando que, independente do material genético utilizado, o maior nível de saturação de alumínio contribuiu para reduzir o acúmulo de matéria seca (Tabela 6).

Nas análises de variância do peso seco da parte aérea das plantas e peso seco total, mostraram ser significativos os efeitos de populações, porém o mesmo não ocorreu para o peso seco do sistema radicular, provavelmente, porque neste caso a precisão experimental é muito baixa (Tabela 6).

Para o peso seco da parte aérea no índice mais baixo de saturação de alumínio foi observada uma amplitude de variação de 2,14 g, sendo que a maior média foi para o cruzamento 'Mulatinho 46 x Ricopardo 896' (3,79 g), e a menor para a cultivar 'TO' (1,65 g). No índice mais alto foi encontrada uma amplitude de 1,53 g, e a maior média foi para o cruzamento 'Mulatinho 46 x Ca-

rioca 1030' (2,91 g), e a menor para 'TO x Carioca 1030' (1,38 g) (Tabela 7).

TABELA 6 - Resumo das análises de variância para peso seco do sistema radicular, parte aérea e total (parte aérea + sistema radicular), obtidas na avaliação das 28 populações de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) em dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		Parte aérea	Sistema radicular	Total
Blocos	2	5,2808 ** $\frac{1}{2}$	36,3860 **	33,1786 **
Populações P	27	1,1447 **	1,5508	4,3961 *
Níveis N	1	23,6100 **	11,1807 **	67,2854 **
P x N	27	0,3272	1,0084	1,7502
Erro	110	0,5150	1,2215	2,3749
C.V. (%)		27,8	52,4	32,8

$\frac{1}{2}$ /** e * indicam diferenças significativas, respectivamente, nos níveis de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

O peso seco do sistema radicular no índice mais baixo de saturação de alumínio apresentou uma amplitude de variação de 3,08 g, e a maior média foi para o cruzamento 'Negrito x Mulatinho 46' (4,03 g) e a menor para a cultivar 'TO' (0,95 g). No índice mais alto ocorreu uma amplitude total de 2,18 g, sendo que a maior média foi para o cruzamento 'Mulatinho 46 x Ricopardo 896' (3,19 g) e a menor média para o cruzamento 'TO x Carioca 1030' (1,01g) (Tabela 8).

TABELA 7 - Resultados médios do peso seco da parte aérea (gramas) obtidos para as 28 populações de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) avaliadas em dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Cultivares		Negrito	T0	Mulatinho 46	Rio Tibagi	IPA I	Carioca 1030	Ricopardo 896
Negrito	B ^{1/}	2.41	2.68	3.42	2.41	2.72	3.08	3.41
	A ^{2/}	1.97	1.52	2.46	1.51	1.93	2.08	2.13
T0	B		1.65	2.56	2.56	2.41	1.92	3.41
	A		1.94	1.92	2.10	2.16	1.38	1.91
Mulatinho 46	B			2.90	3.53	3.49	2.62	3.79
	A			2.60	2.73	2.44	2.91	2.80
Rio Tibagi	B				2.91	2.71	3.38	3.40
	A				2.32	1.85	2.86	2.09
IPA I	B					2.41	3.52	3.43
	A					2.06	1.86	2.61
Carioca 1030	B						3.43	3.02
	A						2.15	2.38
Ricopardo 896	B							3.59
	A							3.11

Média dos tratamentos com calagem = 2,9561

Média dos tratamentos sem calagem = 2,2064

1/ e 2/ - B e A - Médias das populações nos níveis baixo e alto de saturação de alumínio, respectivamente.

TABELA 8 - Resultados médios do peso seco do sistema radicular (gramas) obtidos para as 28 populações de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) avaliadas em dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Cultivares		Negrinho	T0	Mulatinho 46	Rio Tibagi	IPA I	Carioca 1030	Ricopardo 896
Negrinho	B ^{1/}	3.16	3.14	4.03	2.32	1.64	2.05	2.02
	A ^{2/}	1.26	1.31	1.90	1.33	1.81	1.39	2.15
T0	B		0.95	2.75	2.56	2.14	1.18	3.20
	A		1.32	2.61	2.06	1.65	1.01	1.04
Mulatinho 46	B			3.31	2.77	2.47	2.15	2.54
	A			2.66	2.40	2.92	2.26	3.19
Rio Tibagi	B				2.07	2.08	1.89	3.18
	A				1.87	1.60	2.67	1.72
IPA I	B					1.50	2.29	2.97
	A					1.35	1.31	1.63
Carioca 1030	B						1.69	1.45
	A						1.69	1.51
Ricopardo 896	B							2.77
	A							2.16
Média dos tratamentos com calagem = 2,3668					Média dos tratamentos sem calagem = 1,8493			

^{1/} e ^{2/} - B e A - Médias das populações nos níveis baixo e alto de saturação de alumínio, respectivamente.

O peso seco total (parte aérea + sistema radicular), no índice mais baixo de saturação de alumínio apresentou uma amplitude de variação de 4,85 g, e a maior média foi para o cruzamento 'Negrito x Mulatinho 46' (7,45g), e a menor média para a cultivar 'TO' (2,60 g). No índice mais alto de saturação de alumínio ocorreu uma amplitude de variação de 3,59 g, com a maior média para o cruzamento 'Mulatinho 46 x Ricopardo 896' (5,99 g), e a menor para o cruzamento 'TO x Carioca 1030' (2,40 g) (Tabela 9).

Os índices de tolerância relativos aos três caracteres considerados para o estudo do controle genético são apresentados na Tabela 10, e pode-se verificar que o peso seco do sistema radicular apresentou uma maior amplitude de variação (1,1650), sendo que o material mais tolerante foi o híbrido 'Mulatinho 46 x Ricopardo 896' (1,6926), e o menos tolerante o híbrido 'TO x Ricopardo 896' (0,5276). O peso seco da parte aérea apresentou uma amplitude de variação de 0,5461, sendo que o material mais tolerante foi a cultivar 'Ricopardo 896' (1,0630), e o mais sensível o híbrido 'Negrito' x 'Rio Tibagi' (0,5169). Já o peso seco total teve uma amplitude de variação de 0,7076, sendo que o material mais tolerante foi o híbrido 'Mulatinho 46 x Ricopardo 896' (1,1982), e o mais sensível o híbrido 'TO x Carioca 1030' (0,4906).

Para verificar se os dados se ajustam ao modelo aditivo-dominante foram obtidos os valores de $(\hat{C}_i - \hat{V}_i)$ para cada repetição a partir da tabela dialélica (Tabela 4) após completada, repetindo-se os índices de tolerância dos híbridos nos locais correspondentes aos recíprocos. \hat{V}_i corresponde à variância de cada linha desta tabela dialélica e \hat{C}_i à covariância de cada linha com a diagonal, que corresponde às cultivares. A análise $(\hat{C}_i - \hat{V}_i)$ para as três características não mostrou significância para a fonte de variação 'linhas', indicando a sua homogeneidade, o que ocorre na presença dos efeitos aditivos-dominantes (Tabela 11).

Os resultados das análises de variância dos índices de tolerância, que identificam as variações genéticas da tabela dialélica para os três caracteres, são apresentados na Tabela 12. A variância aditiva da tabela dia-

TABELA 9 - Resultados médios do peso seco total (sistema radicular + parte aérea) (gramas) obtidos para as 28 populações de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) avaliadas em dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Cultivares		Negrito	T0	Mulatinho 46	Rio Tibagi	IPA I	Carioca 1030	Ricopardo 896
Negrito	B ^{1/}	5.57	5.81	7.45	4.73	4.37	5.13	5.43
	A ^{2/}	3.23	2.83	4.36	2.84	3.74	3.47	4.28
T0	B		2.60	5.31	5.12	4.55	3.10	6.61
	A		3.26	4.53	4.16	3.80	2.40	2.96
Mulatinho 46	B			6.21	6.31	5.96	4.77	6.33
	A			5.26	5.13	5.37	5.17	5.99
Rio Tibagi	B				4.98	4.79	5.27	6.58
	A				4.19	3.45	5.54	3.81
IPA I	B					3.91	5.81	6.40
	A					3.41	3.17	4.24
Carioca 1030	B						5.12	4.46
	A						3.83	3.89
Ricopardo 896	B							6.36
	A							5.27
Média dos tratamentos com calagem = 5,3239					Média dos tratamentos sem calagem = 4,0564			

^{1/} e ^{2/} - B e A - Médias das populações nos níveis baixo e alto de saturação de alumínio, respectivamente.

lética é detectada pela fonte de variação "a", e foi altamente significativa para os três caracteres. Já o efeito de dominância que é verificado pela fonte "b", não foi significativo para nenhum dos caracteres. A fonte "b" foi decomposta em "b₁", "b₂" e "b₃", e como era esperado, em razão da não significância de "b", não foi encontrada significância para nenhuma destas três fontes de variação. A fonte "b₁" avalia as diferenças entre a média das cultivares e a média dos híbridos, e para o peso seco do sistema radicular, peso seco da parte aérea e total, as diferenças foram 0,0657, 0,0432 e 0,0042, respectivamente (Tabela 10) e, portanto, não foi detectado um desvio médio de dominância de todos os cruzamentos em relação às cultivares. A fonte "b₂" avalia os desvios de dominância entre os grupos de híbridos meios-irmãos, isto é, entre um grupo descendente de uma cultivar e outro descendente de uma segunda cultivar. A fonte "b₃" avalia os desvios de dominância específicos para cada cruzamento, ou seja, os desvios não explicados pelas fontes "b₁" e "b₂".

Os testes de capacidade geral e específica de combinação são apresentados também na Tabela 12, e foi verificada significância apenas para a capacidade geral de combinação para os três caracteres, estando de acordo com os resultados obtidos pela análise de HAYMAN (31).

As estimativas da capacidade geral de combinação (\hat{G}_i) das cultivares envolvidas no dialelo são apresentadas na Tabela 13. Constata-se que os menores valores de \hat{G}_i para o peso seco da parte aérea, peso seco do sistema radicular e peso seco total, foram apresentados, respectivamente, pela cultivar 'T0', 'Carioca 1030' e 'T0', enquanto que o maior valor de \hat{G}_i para os três caracteres foi exibido pela cultivar 'Mulatinho 46'.

Com relação à amplitude de variação dos \hat{G}_i 's para cada caráter, a maior foi observada para o peso seco do sistema radicular (0,5076), e as menores para o peso seco total (0,3692) e peso seco da parte aérea (0,2890).

TABELA 10 - Índices médios de tolerância ao alumínio tóxico para as 28 populações estudadas. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Cultivares		Negrito	TO	Mulatinho 46	Rio Tibagi	IPA I	Carioca 1030	Ricopardo 896
Negrito	R ^{1/}	0,6429	0,6544	1,0554	0,6636	0,9806	0,7517	1,1973
	A	0,6725	0,5217	0,8485	0,5169	0,6589	0,7132	0,7314
	T	0,6478	0,5742	0,9150	0,5708	0,7643	0,7152	0,8923
TO	R		0,6317	1,2033	1,0807	0,9013	0,5546	0,5276
	A		0,6534	0,6449	0,7162	0,7406	0,4732	0,6553
	T		0,6194	0,8503	0,8353	0,7872	0,4906	0,5991
Mulatinho 46	R			1,3321	1,0418	1,2933	1,0892	1,6926
	A			0,8849	0,9221	0,8349	0,9960	0,9508
	T			1,0412	0,9600	1,0347	1,0244	1,1982
Rio Tibagi	R				1,0067	0,8295	1,1501	0,8013
	A				0,7875	0,6350	0,9697	0,7166
	T				0,8419	0,7006	1,0410	0,7558
IPA I	R					0,7307	0,6425	0,6160
	A					0,7061	0,6340	0,8892
	T					0,7032	0,6261	0,8036
Carioca 1030	R						0,7036	0,6492
	A						0,7285	0,8099
	T						0,7220	0,7509
Ricopardo 896	R							0,9512
	A							1,0630
	T							1,0255
Média das cultivares		R = 0,9227		A = 0,7419				T = 0,8043
Média dos híbridos		R = 0,8570		A = 0,7851				T = 0,8001

^{1/} R, A e T indicam, respectivamente, peso seco do sistema radicular, peso seco da parte aérea e peso seco total.

TABELA 11 - Resumo das análises de variância ($\hat{C}_i - \hat{V}_i$) referentes ao peso seco do sistema radicular, peso seco da parte aérea e peso seco total. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Causas de variação	G.L.	Quadrados Médios		
		Sistema radicular	Parte aérea	Total
Blocos	2	0,0213 * ^{1/}	0,0053 **	0,0014
Linhas	6	0,0122	0,0013	0,0003
Erro	12	0,0050	0,0007	0,0005

^{1/} ** e * Indicam diferenças significativas, respectivamente, nos níveis de 1% e 5% de probabilidade.

As estimativas de "herdabilidade" no sentido restrito e os erros associados às estimativas são apresentados na Tabela 14, e a maior estimativa foi para o peso seco total e a menor para o peso seco da parte aérea. Os valores relativamente altos para as estimativas sugerem que uma parcela acentuada da variabilidade genética é aditiva.

A correlação fenotípica entre o peso seco da parte aérea e o peso seco do sistema radicular (r_F) foi positiva ($r = 0,5811^{**}$), e a correlação genética aditiva (r_A) entre esses caracteres foi também positiva, porém alta ($r = 0,8401$).

TABELA 12 - Resumo das análises de variância dos índices de tolerância relativos ao peso seco do sistema radicular, peso seco da parte aérea e peso seco total, com a respectiva decomposição de populações nos componentes aditivo e de dominância, e a decomposição dos híbridos nas capacidade geral e específica de combinação. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios ^{1/}		
		Sistema radicular	Parte aérea	Total
Blocos	2	2,9487 **	1,7836 **	0,1660 *
Populações	27	0,0804 *	0,0221	0,0314 *
var. aditiva	6	0,1994 **	0,0570 **	0,0905**
var. dominante	21	0,0464	0,0121	0,0145
Híbridos x Paternos	1	0,0226	0,0098	0,0001
Dominância Paternos	6	0,0122	0,0100	0,0080
Cap. esp. de combinação	14	0,0628	0,0132	0,0183
C.G.C.	6	0,1461 **	0,0458 *	0,0681**
C.E.C.	14	0,0628	0,0132	0,0183
Erro	54	0,0362	0,0141	0,0140
C.V. (%)		36,4	27,3	25,5

^{1/} ** e * Indicam diferenças significativas, respectivamente, nos níveis de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 13 - Estimativas da capacidade geral de combinação relativas aos índices de tolerância das características peso seco da parte aérea, peso seco do sistema radicular e peso seco total. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Cultivares	Peso seco		
	Parte aérea	Sistema radicular	Total
Negrinho	-0,0921	-0,0466	-0,0788
TO	-0,1398	-0,1228	-0,1378
Mulatinho 46	0,1492	0,3679	0,2314
Rio Tibagi	0,0051	0,0062	0,0076
IPA I	-0,0117	-0,0546	-0,0218
Carioca 1030	0,0290	-0,1397	-0,0355
Ricopardo 896	0,0604	-0,0104	0,0348
VAR ($\hat{\sigma}_i$)	0,0076	0,0066	0,0028

TABELA 14 - Estimativas de "herdabilidade" e do erro associado à estimativa para as características avaliadas, considerando-se os índices de tolerância. ESAL, Lavras, MG, 1988/89.

Característica	" \hat{h}_r^2 "
Peso seco da parte aérea	0,6769 \pm 0,1763
Peso seco do sistema radicular	0,7351 \pm 0,1445
Peso seco total	0,7621 \pm 0,1298

5. DISCUSSÃO

O solo sob vegetação de cerrado escolhido para a realização deste trabalho mostrou-se muito semelhante aos solos utilizados em outros ensaios, principalmente com relação aos valores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, alumínio e pH SILVA (75) e MELO (55), e o mesmo é bastante representativo das condições químicas e físicas das áreas brasileiras sob vegetação de cerrado. Pode-se verificar (Tabela 2) que o maior problema desses solos não é tanto a presença do alumínio tóxico, e sim, a baixa quantidade de cálcio e magnésio, o que faz com que o índice de saturação de alumínio seja alto.

Segundo LOPES (47), a saturação de alumínio de 20% ou mais nos solos sob vegetação de cerrado ocasiona redução na produção na maioria das plantas sensíveis, e quando o nível de saturação atinge 40%, a maioria das plantas cultivadas sofrem danos em função da falta de equilíbrio entre a concentração de bases e alumínio.

O conteúdo de alumínio no solo expresso em porcentagem de saturação pode ser classificado segundo MUZILLI & KALCKMAN (58) em: baixo (menos que 5%); médio (5 a 45%) e alto (acima de 45% de saturação de alumínio). O nível mais alto utilizado neste experimento foi de 51,1% e o mais baixo de 4,7%, sendo que para o ajustamento deste nível utilizou-se doses de calcário normalmente recomendadas para solos sob vegetação de cerrado, equivalente a 2,5 t/ha. Portanto, o menor nível de saturação de alumínio utilizado, quando comparado

com os níveis empregados em outros ensaios, pode ser considerado adequado. Porém o nível mais alto foi relativamente elevado para a avaliação de materiais tolerantes e sensíveis ao alumínio tóxico. Entretanto, têm sido utilizados em outros trabalhos índices de saturação de até 63%, LIMA et alii (45). Níveis mais baixos também são utilizados, como por exemplo num trabalho de avaliação de diversas cultivares de feijão, RAMALHO et alii (66), que empregou um índice de 25,2% para o nível mais alto, e no entanto, foi possível detectar diferenças entre as cultivares.

A adubação utilizada, provavelmente, não se mostrou satisfatória, pois mesmo no valor mais baixo de saturação de alumínio, as plantas tiveram um baixo acúmulo de matéria seca. É necessário ressaltar que a adubação fosfatada foi empregada em nível inferior ao recomendado para experimentos em vasos, procurando evitar que um possível excesso de fósforo mascarasse o efeito do alumínio tóxico. Um outro fator que contribuiu, provavelmente, para o baixo desenvolvimento das plantas, mesmo no solo corrigido, foi a quantidade de água fornecida às mesmas, mantendo o solo em torno de 40% de VTP, conforme sugestão de FREIRE (23), porém, em se tratando de avaliação da tolerância do feijoeiro ao alumínio tóxico, uma maior disponibilidade de água poderia mascarar os efeitos deste íon. No menor nível de água o alumínio funciona como uma barreira química, impedindo o desenvolvimento normal do sistema radicular.

Considerando os resultados obtidos inicialmente, é necessário salientar os elevados valores dos coeficientes de variação observados (Tabela 6). Estes valores ocorreram, provavelmente, porque as parcelas eram constituídas por apenas duas plantas e três repetições. Além disso, as repetições foram conduzidas em épocas diferentes, o que pode também ter contribuído para elevação do erro. Apesar dos valores elevados, eles podem ser considerados satisfatórios quando comparados com outros trabalhos (55, 56, 62), e também porque foi possível detectar ampla variabilidade entre os tratamentos. O fato de se trabalhar com uma menor precisão experimental, provavelmente, impediu verificar sig-

nificância da interação Populações x Níveis (Tabela 6), para as três características avaliadas.

Para se desenvolver um programa de melhoramento de feijoeiro através da hibridação, algumas etapas devem ser seguidas. A primeira delas é a escolha das cultivares progenitoras mais promissoras para a obtenção de populações segregantes, e neste caso os dialelos se destacam, pois permitem obter informações sobre o controle genético dos caracteres, além de proporcionar uma escolha mais criteriosa dos progenitores. O estudo do controle genético, através dos dialelos, segue o modelo aditivo-dominante. No entanto, as informações são válidas desde que os dados atendam a algumas restrições HAYMAN (31) e CRUMPACKER & ALLARD (10). Como foi constatado, os resultados obtidos podem ser analisados segundo o modelo aditivo-dominante (Tabela 11). Além disso, há indicações que a maioria das restrições do dialelo são atendidas para diversos caracteres do feijoeiro e de outras espécies autógamas CHUNG & STEVENSON (6) e HAYMAN (30).

Outro aspecto a ser ressaltado, é o fato do efeito de populações ser considerado como fixo, e terem sido obtidas estimativas quadráticas como "variâncias", "herdabilidade" e "correlação". No entanto, estas estimativas são úteis para auxiliar o conhecimento da variabilidade do grupo de materiais utilizado, além de dar idéia sobre o controle genético dos caracteres.

As três características avaliadas parecem ser igualmente eficientes para identificação dos materiais tolerantes ao alumínio, e têm mostrado também a mesma eficiência em outros trabalhos desta natureza (23, 56, 75), porém, deve-se ter o cuidado com as informações obtidas a partir dos dados de peso seco do sistema radicular, por apresentar um erro maior e desta forma uma menor precisão experimental. As correlações genética aditiva e fenotípica entre o peso seco da parte aérea e o peso seco do sistema radicular mostraram que os efeitos do alumínio nas raízes afetaram a parte aérea, e que o interrelacionamento fenotípico foi devido ao efeito aditivo dos genes. Esta informação é importante, e indica que a parte aérea pode ser utilizada em avaliações

feitas em condições de campo, onde é praticamente impossível utilizar o peso seco de raízes. Essas observações confirmam os resultados de NOBLE et alii (60).

As populações mostraram-se heterogêneas devido apenas ao efeito aditivo dos genes para os três caracteres (Tabela 12). Este fato sugere que a seleção de materiais tolerantes é facilitada, porque pode-se considerar o comportamento médio dos mesmos. Esses resultados são confirmados pela observação de diferenças entre as cultivares, apenas para a capacidade geral de combinação.

As estimativas da capacidade geral de combinação das cultivares (Gi) mostram que a 'Mulatinho 46' é a mais tolerante ao alumínio tóxico, considerando os três caracteres estudados (Tabela 13), indicando que a sua utilização em cruzamento irá contribuir para a produção de híbridos com maiores índices de tolerância. Portanto, esta cultivar é um progenitor ideal, quando o objetivo é a seleção de progênies tolerantes ao alumínio, a partir de populações segregantes. Os pesos secos superiores da 'Mulatinho 46' para os três caracteres, confirmam as estimativas da capacidade geral de combinação e a predominância dos efeitos aditivos dos genes (Tabelas 7, 8 e 9). A maior tolerância da cultivar 'Mulatinho 46' foi confirmada por outros autores (63, 66, 82). Segundo AMARAL et alii (1), esta cultivar não é um material de alta produção, estando numa faixa de extração de fósforo de 10-19 kg por hectare. De acordo com os autores, não é uma cultivar que aproveita bem os nutrientes colocados a sua disposição, porém trata-se de uma cultivar com bom desempenho em solos com alta saturação de alumínio. É interessante salientar que a faixa de extração de fósforo da 'Mulatinho 46' é considerada baixa, o que sugere ser um possível mecanismo de tolerância ao alumínio tóxico.

Além da 'Mulatinho 46', outras cultivares também mostraram um certo nível de tolerância, como a 'Ricopardo 896', 'Rio Tibagi' e 'Carioca 1030' (Tabelas 10 e 13). Entre elas as cultivares 'Carioca 1030' e 'Ricopardo 896' têm sido consideradas como tolerantes em outras avaliações (9, 66, 71, 82),

porém, numa avaliação feita por RAMALHO et alii (66), as cultivares 'Riopardo 896' e 'Rio Tibagi' não foram relacionadas entre as mais tolerantes. Estes resultados contraditórios, provavelmente ocorreram porque os índices de tolerância das cultivares são valores relativos, e sua estimativa leva em conta o desempenho da mesma na condição de alto nível de saturação e a média de todos os outros materiais, na qual a contribuição da cultivar 'TO' e os híbridos em que ela participa, foi para a redução da média geral. Esta cultivar foi incluída no dialelo devido ao alelo dominante Mex.2 que a mesma possui, e que confere resistência a um grande número de raças de Colletotrichum lindemuthianum, um fungo causador da antracnose do feijoeiro. Porém, trata-se de uma cultivar com baixa capacidade de adaptação, e isto pode ser explicado pelo fato de se tratar de uma cultivar introduzida. Se esta cultivar for utilizada em cruzamento, o outro progenitor deve ser uma cultivar que contribua com um número maior de genes para adaptação às condições químicas dos solos sob vegetação de cerrado, como a cultivar 'Mulatinho 46'.

A cultivar 'Carioca 1030' é a mais utilizada pelos agricultores, principalmente pela alta produção, tipo do grão e grande aceitação comercial. Estes caracteres favoráveis associados a uma certa tolerância ao alumínio, tornam esta cultivar um progenitor ideal para o melhoramento, através de seleção de progênies em populações segregantes. A população 'Carioca 1030 x Mulatinho 46' é a mais promissora para seleção de progênies com alta tolerância, aliada às características favoráveis da cultivar 'Carioca 1030'. A capacidade geral de combinação da 'Mulatinho 46' para as três características (Tabela 13), e os índices de tolerância do híbrido 'Mulatinho 46 x Carioca 1030' (Tabela 10) indicam a potencialidade deste cruzamento para a seleção de progênies tolerantes.

O cruzamento 'Carioca 1030 x Rio Tibagi' também mostra-se promissor para a seleção de progênies com tolerância ao alumínio (Tabelas 10 e 13), juntamente com as características favoráveis da cultivar 'Carioca 1030' e o hábito de crescimento arbustivo da cultivar 'Rio Tibagi'. Especialmente o hábito de crescimento arbustivo é muito favorável, principalmente para as cultu-

ras mais mecanizadas em áreas mais extensas, como as que vêm sendo praticadas no cerrado.

Os valores elevados de "herdabilidade" no sentido restrito para os três caracteres estudados (Tabela 14), indicam a possibilidade de sucesso na escolha de populações híbridas mais promissoras para seleção de progênies tolerantes. Mostram também que, possivelmente, um pequeno número de genes esteja envolvido no controle da tolerância do feijoeiro a índices elevados de saturação de alumínio, sendo que os valores verificados são devidos à presença exclusiva do efeito aditivo dos genes.

6
6. CONCLUSÕES

a) O controle genético da tolerância do feijoeiro às condições químicas dos solos sob vegetação de cerrado, principalmente alta saturação de alumínio, tomando-se como referência o acúmulo de matéria seca da parte aérea, sistema radicular e total, foi explicado pela ação gênica aditiva.

b) A cultivar 'Mulatinho 46' mostrou ser a mais tolerante à condição de alta saturação de alumínio, enquanto que a 'TO' comportou-se como a mais sensível.

c) A população segregante oriunda do cruzamento 'Carioca 1030 x Mulatinho 46' é favorável para a seleção de progênes com alta tolerância à saturação de alumínio elevada aliada às características da 'Carioca 1030' como alta produção e tipo de grão. O cruzamento 'Carioca 1030 x Rio Tibagi' pode permitir a seleção de progênes com tolerância à alta saturação de alumínio e hábito de crescimento arbustivo, característica essa devida à cultivar 'Rio Tibagi'.

7. RESUMO

Procurou-se obter informações sobre o controle genético da tolerância do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) às condições químicas existentes nos solos sob vegetação de cerrado, principalmente alta saturação de alumínio, e ao mesmo tempo escolher as cultivares mais promissoras para um programa de melhoramento através de hibridação, visando obter cultivares mais adaptadas às condições desses solos. Para isso utilizou-se um dialelo envolvendo sete cultivares. Os 21 híbridos descendentes e as sete cultivares foram avaliados em casa de vegetação, empregando-se solo sob vegetação de cerrado com nível de saturação de alumínio de 51,1% e 4,7%. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com três repetições no esquema fatorial 2 x 28. A parcela experimental foi representada por um vaso contendo duas plantas e foram avaliados os pesos secos do sistema radicular, parte aérea e total, no final do ciclo da planta. Para o estudo do controle genético, determinou-se para cada característica um índice de tolerância que levou em consideração o desempenho de cada população no solo com alta saturação de alumínio e o rendimento médio das 28 populações no solo com baixa saturação. Verificou-se que a variação genética observada foi toda aditiva. Baseando-se na estimativa da capacidade geral de combinação, acúmulo de matéria seca e índice de tolerância ao alumínio tóxico, foi possível verificar que a cultivar 'Mulatinho 46' comportou-se como a mais tolerante, e a cultivar 'TO' como a mais sensível a alta saturação de alumínio. Dentre os diferentes híbridos F₁, pode-se ressaltar o cruzamento 'Ca-

rioca 1030 x Mulatinho 46', com potencial para a seleção de progênies tolerantes à alta saturação de alumínio juntamente com os caracteres favoráveis da cultivar 'Carioca 1030', como produtividade e tipo de grão. Também o cruzamento 'Carioca 1030 x Rio Tibagi' de onde podem-se originar progênies com um certo nível de tolerância à alta saturação de alumínio e o porte arbustivo, que é conferido pela cultivar 'Rio Tibagi'.

8. SUMMARY

The genetic control of tolerance to aluminum (Al^{+++}) toxicity was studied in 28 common bean (Phaseolus vulgaris L.) population under greenhouse conditions aiming at the formation of a basic genetic material for a specific breeding program. Twenty-one of those populations were F_1 hybrids derived from matings in a diallelic scheme involving seven cultivars. Soil used was a typical "Cerrado" Dark Red Latosol with two Al^{+++} saturation levels, 51.1% and 4.7%. The treatments were arranged in a randomized complete block design with three replications in a 2×28 factorial experiment. At the end of the plant biological cycle, dry weights of underground and aboveground plant parts were measured and total weight calculated. A tolerance index based on both performance of each individual population in high Al^{+++} saturation soils and average performance of all populations in low Al^{+++} was determined to study the genetic control of each variable. Observed genetic variance was predominantly additive. Based on general combining ability, amount of dry matter, and Al^{+++} tolerance index, cultivars 'Mulatinho 46' and 'T0' exhibited the highest and the lowest tolerance levels, respectively. 'Carioca 1030' x 'Mulatinho 46' hybrid population was the most tolerant to Al^{+++} toxicity in addition to express favorable characteristics such as high seed yield and good marketable seed type inherited from Carioca 1030.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, F.A.L.; REZENDE, H.E.C.; BRASIL S^o, M.O.C. & MALAVOLTA, E. Exigências de nitrogênio, fósforo e potássio de alguns cultivares de feijoeiro. Anais da ESALQ, Piracicaba, 32:223-40, 1980.
2. CAMARGO, C.E.O. Evidência de controle genético na tolerância ao manganês e alumínio tóxico em trigo. Bragantia, Campinas, 42(9):91-103, 1983.
3. _____. Heritability estimates and associations of different height levels with aluminum toxicity and grain yield in wheat. Dissertation abstracts international, Cornellis, 39(11).5177. 1979. In: PLANT BREEDING ABSTRACTS, Cambridge, 51(7):691 (abst. 7887), Jul. 1981.
4. CAMBRAI, J. & CALBO, A.G. Efeito do alumínio sobre a absorção e sobre o transporte de fósforo em dois cultivares de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench.). Revista Ceres, Viçosa, 27(154):615-25, nov./dez. 1980.
5. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Informe anual 1985; programa de frijol. Cali, 1986. 169p.

6. CHUNG, J.H. & STEVENSON, E. Diallel analysis of the genetic variation in some quantitative traits in dry beans. New Zealand Journal Agricultural Research, Wellington, 16(2):223-31, May 1973.
7. CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus - stressed corn imbeds. Crop Science, Madison, 14(4):505-8, Jul./Aug. 1974.
8. CLARKSON, D.T. The effect of aluminum and some other trivalent metal cations on cell division in the root apices of Allium cepa. Annals of Botany, New York, 29(3):309-15, Sept. 1965.
9. COSTA, A. Calagem e adubação fosfatada da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.): Efeito sobre cultivares e sobre a absorção de fósforo. UFV, Viçosa, 1985. 94p. (Tese MS).
10. CRUMPACKER, D.W. & ALLARD, R.W. A diallel cross analysis of heading date in wheat. Hilgardia, California, 32(6):275-319, Apr. 1962.
11. CUMMING, J.R.; ECKERT, R.T. & EVANS, L.S. Effect of aluminum on ³²P uptake and translocations by red spruce seedlings. Canadian Journal of Forest Research, Toronto, 16(4):864-7, 1986.
12. CUTRIM, V.A. Herança da tolerância à toxidez causada pelo alumínio em arroz. Viçosa, UFV, 1979. 76p. (Tese MS).
13. DICKSON, M.H. Diallel analysis of seven economic characters in snap beans. Crop Science, Madison, 7(2):121-4, Mar./Apr. 1967.
14. FALCONER, D.S. Introdução à Genética Quantitativa. Viçosa, UFV, 1981. 279p.

15. FLEMING, A.L. & FOY, C.D. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. Agronomy Journal, Madison, 60(2):171-6, Mar./Apr. 1968.
16. FONSECA JR., N. da S. Estudo da herança da tolerância ao alumínio em soja (Glycine max (L.) Merrill), pelo método da hematoxilina. Viçosa, UFV, 1982. 46p. (Tese MS).
17. FOOLAND, M.R. & BASSIRI, A. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield and yield components in a common bean diallel cross. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 100(1):103-8, Feb. 1983.
18. FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Ciência e Cultura, São Paulo, 28(2):150-6, fev. 1976.
19. _____. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-42.
20. _____. Physiological effects of Hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. Invitational contribution of the Plant Stress Laboratory, Plant Physiology Institute. Agronomy Monograph., 2.ed. Madison, 1984. n.12, n.p.
21. _____; ARMIGER, W.H.; FLEMING, A.L. & ZAUMEYER, M.J. Differential tolerance of dry bean, snap bean and lima bean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. Agronomy Journal, Madison, 59(6):561-3, Nov./Dec. 1967.

22. FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. Annual Review of Plant Physiology, New York, 29:511-66, 1978.
23. FREIRE, J.C. Efeitos de níveis de água e formas de aplicação de calcário na produção de matéria seca do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) cultivado em dois solos de cerrado em casa de vegetação. Ciência e Prática, Lavras, 9(1):59-70, jun./jul. 1985.
24. GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. & ALCOVER, M. Teores de alumínio, manganês, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em 60 variedades de trigo e sua relação com o 'crestamento'. Bragantia, Campinas, 31(32):36-61, jan. 1972. (Nota, 7).
25. GALVÃO, J.D. & SILVA, J.C. Herança da tolerância ao alumínio na variedade de milho Piranão. Revista Ceres, Viçosa, 25(137):71-8, jan./fev. 1978.
26. GARCIA JUNIOR, O. & SILVA, W.J. da. Análise genética da tolerância ao alumínio em milho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 31, São Paulo, 1979. Resumos... São Paulo, SBPC, 1979. (Suplemento de Ciência e Cultura, São Paulo, 31(7):585, jul. 1979. (82-9.1.6).
27. GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian Journal Biological Science, Melbourne, 9(4):463-93, 1956.
28. HAMBLIN, J. Plant breeding interpretations of the effects of bulk breeding on four populations of beans (Phaseolus vulgaris L.). Euphytica, Wageningen, 26(1):157-68, Feb. 1977.

29. HANSON, W.D. & KAMPRATH, E.J. Selection for aluminum tolerance in soybean based on seedling root growth. Agronomy Journal, Madison, 71(4):581-6, Jul./Aug. 1979.
30. HAYMAN, B.I. Interaction, heterosis and diallel crosses. Genetics, Austin, 42(3):336-55, 1957.
31. _____. The theory and analysis of diallel crosses. Genetics, Austin, 39(4):789-809, Dec. 1954.
32. HECHT-BUCHHOLZ, C. & FOY, C.D. Effect of aluminum toxicity on root morphology of barley. In: BROUMER, R., ed. Structure and function of plant roots. The Hague, 1981. p.343-5.
33. HORTON, B.D. & EDWARDS, J.H. Diffusive resistance rates and stomatal apertures of peach seedlings as affected by Al concentrations. Horticultural Science, Michigan, 11:591-3, 1976.
34. HOWELLER, R.H. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. Agronomy Journal, Madison, 68(4):551-5, Jul./Aug. 1976.
35. HUCK, M.G. Impairment of sucrose utilization of cell wall formation in the roots of aluminum damaged cotton seedlings. Plant and Cell Physiology, Kyoto, 13(1):7-14, Feb. 1972.
36. JINKS, J.L. & HAYMAN, B.I. The analysis of diallel crosses. Maize Genetics Cooperation Newsletter, Ithaca, 27:48-54, 1953.
37. JONES, R.M. Analysis of variance of the half diallel table. Heredity, Edinburgh, 20:117-21, 1965.

38. JUNQUEIRA NETTO, A. Ensaio exploratório sobre o efeito do alumínio tóxico em variedades de feijão (Phaseolus vulgaris L.) em solo sob vegetação de cerrado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1, Goiânia, 1982. Anais... Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1981. p.191-3. (EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa - Arroz e Feijão. Documentos, 1).
39. KEMPTHORNE, O. An Introduction to Genetic Statistics. 3.ed. New York, John Wiley, 1966. 545p.
40. KERRIDGE, P.C. & KRONSTAD, W.E. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat. Agronomy Journal, Madison, 60(6):710-1, Nov./Dec. 1968.
41. KLIMASHEVSKII, E.L. & DEDOV, V.M. Localization of the mechanism of growth inhibiting action of Al^{+3} in elongation cell walls. Soviet Plant Physiology. New York, 22(6):1040-7, May 1975.
42. LAFEVER, H.N. & CAMPBELL, L.G. Inheritance of aluminum tolerance in wheat. Canadian Journal of Genetics and Cytology, Quebec, 20(3):355-64, Jul. 1978.
43. _____; _____ & FOY, C.D. Differential response of wheat cultivars to Al. Agronomy Journal, Madison, 69(6):563-8, Jul./Aug. 1977.
44. LEE, E.H. & FOY, C.D. Aluminum tolerance of two snapbean by high-performance liquid chromatography. Journal of Plant Nutrition, New York, 9(12):1481-98, 1986.
45. LIMA, P.C.; RAMALHO, M.A.P. & MELO, B. de. Comparações entre métodos estatísticos utilizados para avaliar a tolerância e toxicidade do alumínio. Ciência e Prática, Lavras, 5(1):32-9, jan./jun. 1981.

46. LOPES, A.S. Available water, phosphorus fixation and zinc levels in Brazilian cerrado soils in relations to their physical, chemical and mineralogical properties. Raleigh, NCSU, Department of Soil Science, 1977. 189p. (Tese Doutorado).
47. LOPES, A.S. Solos sob cerrado; características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFOS, 1983. 162p.
48. MAGNAVACA, R. Genetic variability and inheritance of aluminum tolerance in maize (Zea mays L.). Nebraska, University of Nebraska, 1982. 135p. (Tese Doutorado).
49. MALAVOLTA, E.; NOGUEIRA, F.D.; OLIVEIRA, I.P.; NAKAYAMA, L. & EIMORI, I. Aluminum tolerance in sorghum and bean. Journal of Plant Nutrition, New York, 3:687-94, 1981.
50. MALAVOLTA, E.; SARRUGE, J.R. & BITTENCOURT, V.C. Toxicidade de alumínio e de manganês. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; bases para utilização agropecuária, 4, Brasília, 1976. Simpósio... Belo Horizonte, Itatiaia, 1977. p.275-301.
51. MALAVOLTA, E.; VECHIATO, A.F.; TAKAHASHI, H.W.; KLIEMANN, H.J.; AZEVEDO, J.A.; THOMAZI, M.D.; GENUÍ, P.J.C. & LEÃO, S.R.F. Estudos sobre a nutrição mineral do arroz. XVI Absorção radicular e foliar do rádio fósforo por diversas variedades. Anais da ESALQ, Piracicaba, 39(1):373-409, 1982.
52. MATSUMOTO, H.; HIRASAWA, H.; TORIKAI, H. & TAKAHASHI, E. Localization of absorbed aluminum in pea root and its binding to nucleic acids. Plant and Cell Physiology, Kyoto, 17(1):127-37, Feb. 1976.

53. McCART, G.D. & KAMPFRATH, E.J. Suppling calcium and magnesium for cotton on sandy, low cation exchange capacity soils. Agronomy Journal, Madison, 57(3):404-6, May/June 1965.
54. McCORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y. The occurrence of aluminum phosphate precipitate in plant roots. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 38(6):931-4, Nov./Dec. 1974.
55. MELO, B. de. Tolerância da soja (Glycine max (L.) Merril) à saturação de alumínio, em condições de casa de vegetação, para solo sob cerrado. Lavras, ESAL, 1980. 56p. (Tese MS).
56. MESQUITA FILHO, M.V.; MIRANDA, L.N. de. & KLUTHCOVSKI, J. Avaliação de cultivares de feijão para sua tolerância à toxicidade de alumínio com relação à disponibilidade de fósforo em solo de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(1):43-6, jan./abr. 1982.
57. MIRANDA, L.N. & LOBATO, E. Tolerância de variedades de feijão e de trigo ao alumínio e à baixa disponibilidade de fósforo no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(1):44-50, jan./abr. 1978.
58. MUZILLI, O. & KALCKMANN, R.E. Análise de assistência-interpretação de resultados e determinação de níveis críticos. I. Determinação de níveis críticos da acidez. Boletim da Universidade Federal do Paraná, Agronomia, Curitiba, 6(1):1-18, set. 1971.
59. NAIDOO, G.; STEWART, Mc.D. & LEWIS, R.J. Accumulation sites of the Al in snapbean and cotton roots. Agronomy Journal, Madison, 70(3):489-92, May/June 1978.

60. NOBLE, A.D.; LEA, J.D. & FEY, M.V. Genotypic tolerance of selected dry bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars to soluble Al and to acid, low P soil conditions. South African Journal of Plant and Soil, South Africa, 2(3):115-9, 1985.
61. NOGUEIRA, F.D. Efeito do alumínio no sorgo granífero (Sorghum bicolor L. Moench.). Piracicaba, ESALQ, 1979. 120p. (Tese Doutorado).
62. NOVAIS, R.F. de & BRAGA, J.M. Efeito do tamanho de vaso e do número de plantas por vaso sobre a produção de massa vegetal em experimento de estufa. Revista Ceres, Viçosa, 19(106):403-9, nov./dez. 1972.
63. OLIVEIRA, I.P. de. Efeitos do alumínio e de micronutrientes no feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). Piracicaba, ESALQ, 1980. 196p. (Tese Doutorado).
64. OLMOS, J.I.L. & CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. Ciência e Cultura, São Paulo, 28(2):171-82, fev. 1976.
65. RAMALHO, M.A.P.; PINTO, C.A.B.P. & CARVALHO, M.A. de. Tolerância do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) a níveis de saturação de alumínio, em solo sob vegetação de cerrado. Ciência e Prática, Lavras, 6(1):55-62, jan./jun. 1982.
66. RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos & REIS, W.P. Comportamento de cultivares de feijão (Phaseolus vulgaris L.) em dois níveis de saturação de alumínio em solo de cerrado. Ciência e Prática, Lavras, 10(1):41-50, jan./abr. 1986.

67. RHUE, R.D.; GRORGAN, C.O.; STOCKMEYER, E.W. & EVERETT, H.L. Genetic control of aluminum tolerance in com. Crop Science, Madison, 18(6):1063-7, Nov./Dec. 1978.
68. RIOS, M.A. & PEARSON, R.W. The effect of some chemical environmental factors on cotton behavior. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 28(2):232-5, Mar./Apr. 1964.
69. RUSCHEL, A.P.; ALVAHYDO, R. & SAMPAIO, I.B.M. Influência do excesso de alumínio no feijão (Phaseolus vulgaris L.) cultivado em solução nutritiva. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 3:229-33, 1968.
70. SAFARI, A. A yield-component selection experiment involving american and iranian cultivars of the common bean. Crop Science, Madison, 18(1):5-7, Jan./Feb. 1978.
71. SALINAS, J.C. & SANCHES, P.A. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. Ciência e Cultura, São Paulo, 28(2):156-68, fev. 1976.
72. 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).
73. SANTOS, J.B. dos & VENCOVSKY, R. Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 21(9):957-63, set. 1986.
74. SANTOS, J.B. dos; VENCOVSKY, R. & RAMALHO, M.A.P. Controle genético da produção de grãos e de seus componentes primários em feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 20(10):1203-11, out. 1985.

75. SILVA, A.F. da. Avaliação de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) à saturação de alumínio em solos sob vegetação de cerrado. Lavras, ESAL, 1982. 81p. (Tese MS).
76. SILVA, A.R. da. Melhoramento genético para resistência à toxicidade de alumínio e manganês no Brasil. Antecedentes, necessidade e possibilidades. Tópicos para discussão e pesquisas. Ciência e Cultura, São Paulo, 28 (2):147-9, fev. 1976.
77. SILVA, W.J. da. Seleção de milho tolerante ao alumínio. I: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GENÉTICA, 8, Jaboticabal, 1979. Anais... Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1979. p.107-13.
78. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and Procedures of Statistics. 2. ed. New York, McGraw-Hill, 1980. 633p.
79. STOCKMEYER, E.W.; EVERETT, H.L. & RHUE, D. Aluminum tolerance in maize seedlings as measured by primary root length in nutrient solutions. Maize Genetics Cooperation Newsletter, Bloomington, 52:15-6, 1978.
80. VELLO, N.A. & VENCOVSKY, R. Variâncias associadas às estimativas de variância genética e coeficiente de herdabilidade. In: RELATÓRIO CIENTÍFICO DE 1974. Piracicaba, ESALQ, 1974. p.238-48. (Relatório, 8).
81. VIEIRA, C. O feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento. Viçosa, UFV, 1967. 220p.
82. VIEIRA, C. Pragas e doenças do feijoeiro. Viçosa, UFV, 1983. 231p.

83. WILLEN, K.G. & LOENEN, E.V. Localizations of Al and P on the outer surface and within roots of wheat plants using a histochemical method. In: SYMPOSIUM OF PLANT - SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, Alberta, 1987. Abstracts... Alberta, Grande Prairie Regional College, 1987. p.320.