

ESTUDO DA CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO UTILIZANDO A ANÁLISE DE FATORES¹

Ricardo Gonçalves Silva²
Glauco Vieira Miranda³
João Carlos Cardoso Galvão³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a capacidade de combinação de híbridos comerciais de milho, por meio da técnica de análise de fatores. Utilizaram-se cinco híbridos comerciais de milho, AG 122, AG 405, AG 8012, C 505 e C 901, que foram cruzados entre si, em esquema dialélico, obtendo-se as combinações híbridas. Foram instalados dois experimentos, um na Estação Experimental de Coimbra, no município de Coimbra-MG, e o outro na Estação Experimental do Aeroporto, no município de Viçosa-MG, ambas pertencentes à Universidade Federal de Viçosa (UFV). Cada experimento foi constituído de dez tratamentos, representados pelas combinações híbridas dos cinco genitores. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com duas repetições. A parcela experimental foi constituída de duas linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,9 m, com 25 plantas por linha, constituindo uma população de aproximadamente 55.000 plantas por hectare. Nos dois locais, foram avaliados os componentes da produção de grãos de milho. Para cada local, foi realizada a análise de fatores e, em seguida, a análise dialélica (univariada) dos escores dos fatores que envolveram, no mínimo, 75% da variação total e, ou, tantos fatores comuns quantos forem os autovalores maiores ou iguais à unidade, sendo determinadas as capacidades geral (CGC) e específica (CEC) de combinação para cada um dos fatores. Para esta análise, utilizou-se o método 4, proposto por Griffing, apenas F_1 's. Pelos resultados, a análise dialélica com base nos escores da análise de fatores foi eficiente para estimar a CGC e CEC dos genitores e das combinações híbridas de híbridos comerciais de milho.

Palavras-chave: análise multivariada, dialélico, *Zea mays*.

¹ Aceito para publicação em 9.9.2004.

² Universidade Federal de Viçosa – UFV, 36570-000 Viçosa, MG. Doutorando em Genética e Melhoramento. Bolsista do CNPq. rgoncalves@vicosa.ufv.br

³ UFV, Dep. de Fitotecnia. Bolsista do CNPq.

ABSTRACT

THE COMBINING ABILITY OF MAIZE HYBRIDS USING FACTOR ANALYSIS

This work aimed to study the combining ability of commercial maize hybrids by applying the factor analysis technique. Five commercial maize hybrids were used (AG 122, AG 405, AG 8012, C 505 and C 901) crossed among themselves under a diallel crossing system to obtain hybrid combinations. Two experiments were conducted: one at the Coimbra Experimental Station, Coimbra -MG, and the other at the Airport Experimental Station in Viçosa - MG, both of the Universidade Federal de Viçosa (UFV). Each experiment consisted of 10 treatments represented by hybrid combinations of the five genitors. A randomized block experimental design was used with two replicates. The experimental plot was totally used and consisted of two 5.0m-length rows 0.9 m apart, with 25 plants per row, comprising a population of approximately 55.000 plants per hectare. The grain yield components were evaluated at both places. Factor analysis was accomplished for each place, followed by diallel crossing analysis (univariate) of the factor scores, involving at least 75% of the total range and/or as many common factors as the number of eigenvalues equal or higher than the unit, with the general (GCC) and specific (SCC) combination abilities being determined for each factor. For this analysis, the Griffing's method (F_1 's only) was used. The results showed that the diallelic analysis based on the factor analysis scores was efficient in estimating the GCC and SCC of the genitors and hybrid combinations of commercial maize hybrids.

Key words: multivariate analysis, diallel, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

Nos programas de melhoramento genético, a escolha dos genitores para o desenvolvimento de populações capazes de propiciar os ganhos de seleção desejados constitui uma das etapas mais críticas. Nesta escolha, o melhorista dispõe de algumas técnicas, destacando-se os cruzamentos dialélicos, que permitem a identificação de genitores, com base em seus próprios valores genéticos e, principalmente, na capacidade de se combinarem em híbridos que produzem populações segregantes promissoras (12).

De acordo com Cruz e Regazzi (4), um sistema de cruzamentos dialélicos corresponde ao intercruzamento de p genitores, dois a dois,

produzindo $p(p-1)/2$ híbridos, no caso dos dialelos completos, sem os cruzamentos recíprocos.

Na literatura, existem diversas metodologias de análise dos cruzamentos dialélicos, empregadas na análise de médias de populações, linhagens endogâmicas etc., ou mesmo de variâncias. Segundo Cruz e Regazzi (4), essas metodologias têm por finalidade analisar o delineamento genético, provendo estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores, para hibridação e entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres.

Em geral, as características utilizadas para avaliar os genótipos são de natureza quantitativa e estão correlacionadas, de forma que a seleção em uma provoca mudanças nas outras. A maneira de se resolver essa dificuldade é por meio do estudo simultâneo dessas características e, portanto, as técnicas de análise multivariada são adequadas, por permitirem simultaneamente a avaliação de um conjunto de características.

Entre as técnicas multivariadas, a análise de fatores tem sido recomendada, pelo grande potencial em estudos genéticos (1).

O uso dos escores da análise de fatores, como critério de identificação de genótipos superiores, tem sido apontado como alternativa viável no melhoramento (2). Cada fator envolve um grupo de características correlacionadas e, portanto, com interpretação biológica. É possível encontrar, entre os fatores, aqueles de significado biológico ou econômico e, portanto, a seleção seria praticada eficientemente.

Este trabalho teve como objetivo estudar a capacidade de combinação de híbridos comerciais de milho, considerando-se um complexo de variáveis obtido por meio da análise de fatores.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se cinco híbridos comerciais de milho, AG 122, AG 405, AG 8012, C 505 e C 901, cujas principais características agronômicas encontram-se descritas no Quadro 1.

QUADRO 1 - Características agronômicas dos genitores utilizados nos cruzamentos dialélicos			
	Híbrido	Ciclo	Tipos de gras
AG 122	Duplo	Precoce	Amarelo semidentado
AG 405	Duplo	Precoce	Alaranjado semiduro
AG 8012	Simples	Precoce	Alaranjado semiduro
C 505	Triplo	Precoce	Amarelo semiduro
C 901	Simples	Semiprecoce	Amarelo semidentado

Os cinco genitores foram cruzados entre si, em esquema dialélico, obtendo-se as combinações híbridas.

Em fevereiro de 2001 foram instalados dois experimentos, um na Estação Experimental de Coimbra, no município de Coimbra-MG, e o outro na Estação Experimental do Aeroporto, no município de Viçosa-MG, ambas pertencentes à Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Cada experimento foi constituído de dez tratamentos, representados pelas combinações híbridas dos cinco genitores.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com duas repetições. A parcela experimental foi constituída de duas linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,9 m, com 25 plantas por linha, constituindo uma população de aproximadamente 55.000 plantas por hectare.

A adubação de plantio, em ambos os experimentos, foi de 500 kg da fórmula 4-14-8, e a adubação nitrogenada em cobertura, com sulfato de amônio na dosagem de 200 kg/ha, foi realizada durante o estágio fenológico 1, correspondente a quatro folhas completamente desenvolvidas (6). Nos dois locais, foram realizadas práticas recomendadas, como o controle de plantas daninhas, por meio de capinas manuais, e a irrigação suplementar.

Nos dois locais, foram avaliados os seguintes caracteres: altura de plantas (cm), medida do solo até à inserção da folha bandeira; altura de inserção da espiga (cm), medida do solo até à inserção da primeira espiga; estande final de plantas; número de espigas; produção de grãos de milho por parcela (kg/parcela); e produção de espigas por parcela (kg/parcela).

Para cada local, foi realizada a análise de fatores, utilizando-se o Programa Genes, versão Windows (5). Esta análise consistiu nos seguintes estádios, de acordo com Castell (3):

1. Estabelecimento do número de fatores comuns a ser usado.
2. Cálculo das cargas iniciais desses fatores.
3. Rotação das cargas iniciais, obtendo-se, com isso, as cargas finais, que permitem definir os fatores desejados.
4. Estimção dos escores fatoriais associados a cada variável.

Para a determinação do número de fatores comuns a ser utilizado, seguiu-se a metodologia proposta por Castoldi (2), em que se escolhem tantos fatores comuns quanto autovalores superiores ou iguais à unidade, obtidos da matriz de correlações fenotípicas dos caracteres originais padronizados. Em seguida, foi realizada a análise dialélica (univariada) dos escores dos fatores comuns dos autovalores maiores ou iguais à unidade (8, 9, 1, 2) e que envolveram, no mínimo, 75% da variação total (11), sendo determinadas as capacidades geral e específica de combinação para cada um dos fatores. Para esta análise, usou-se o método 4, proposto por Griffing (7), apenas F_1 's, utilizando o Programa Genes, versão Windows (5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambas as análises, fizeram parte da análise somente os fatores com autovalores maiores que a unidade, porque, de acordo com Kim (10), são estes os que sustentam a maior proporção dos dados originais.

Três fatores foram selecionados no experimento na Estação Experimental de Coimbra, e apenas dois na do Aeroporto (Quadros 2 e 3).

QUADRO 2 - Autovalores, explicação e porcentagem acumulada dos fatores do experimento na Estação Experimental de Coimbra			
Fatores	Autovalores	Explicação (%)	% Acumulada
1	2,550429	42,51	42,51
2	1,624654	27,08	69,59
3	1,218707	20,31	89,90
4	0,533177	8,89	98,78
5	0,069725	1,16	99,94
6	0,003308	0,05	100,00

QUADRO 3 - Autovalores, explicação e porcentagem acumulada dos fatores do experimento na Estação Experimental do Aeroporto			
Fatores	Autovalores	Explicação (%)	% Acumulada
1	2,966169	49,44	49,44
2	1,637137	27,29	76,72
3	0,716419	11,94	88,66
4	0,33668	5,61	94,27
5	0,253068	4,22	98,49
6	0,090527	1,51	100,00

Provavelmente devido a essa diferença na seleção dos fatores não foi possível realizar a análise conjunta dos ambientes, por isso, procedeu-se à análise individual. Assim, com base nos Quadros 2 e 3, observa-se que as características avaliadas em conjunto tiveram o comportamento diferenciando em cada ambiente, que pode ser explicado por diferença nas condições ambientais.

Nos Quadros 4 e 5 encontram-se as cargas fatoriais iniciais (CFI), cargas fatoriais após a rotação (CFR) e comunalidades (COM) das características avaliadas em cada local.

QUADRO 4 - Cargas fatoriais iniciais (CFI) e após a rotação (CFR) e comunalidades (COM) das características avaliadas no experimento na Estação Experimental de Coimbra							
Características	CFI-1	CFI-2	CFI-3	CFR-1	CFR-2	CFR-3	COM
PG	0,853376	-0,486847	0,112772	0,988764	0,007237	-0,016779	0,977989
PE	0,885700	-0,451559	0,078322	0,994638	0,062955	-0,03516	0,994505
AP	-0,049466	0,173604	0,906407	-0,008096	-0,179234	0,906625	0,854159
AE	0,278196	0,671619	0,427164	-0,034841	0,539702	0,646871	0,710935
EF	0,419405	0,755966	-0,437965	-0,069367	0,958235	-0,12717	0,939199
NE	0,884292	0,361984	-0,063238	0,57413	0,758055	0,112833	0,917004

QUADRO 5 - Cargas fatoriais iniciais (CFI) e após a rotação (CFR) e comunalidades (COM) das características avaliadas no experimento na Estação Experimental do Aeroporto					
Características	CFI-1	CFI-2	CFR-1	CFR-2	COM
PG	0,688924	0,573245	0,30414	0,23085	0,854283
PE	0,820264	0,190911	0,25141	-0,209465	0,878971
AP	-0,357112	0,763072	0,078253	0,923734	0,887417
AE	-0,376191	0,810626	-0,399669	0,794517	0,842465
EF	0,942795	-0,101498	0,763132	-0,347608	0,929311
NE	0,812901	0,149618	0,914662	0,01176	0,927277

Com base nas CFIs, não é possível discriminar as características com maiores cargas, por isso procedeu-se à rotação ortogonal com base no método Varimax (8), com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, pois cada fator deverá apresentar correlação relativamente forte com uma ou mais variáveis e fraca com as demais.

Essa rotação não altera a comunalidade das variáveis e nem a variância específica. A comunalidade é a porção da variância da i -ésima variável, devido aos m fatores comuns, e a variância específica é a porção da variância devida ao fator específico. Em todas as características associadas aos três fatores, a comunalidade foi superior a 0,85, sendo desejado que a comunalidade de cada fator seja máxima.

No experimento na Estação Experimental de Coimbra (Quadro 4), o primeiro fator (CFR-1) correlacionou-se mais forte e positivamente com o peso de grãos (PG) e de espigas (PE), sendo, portanto, o fator que reflete a produtividade das combinações híbridas de milho.

O segundo fator (CFR-2) correlacionou-se mais fortemente com o número de espigas (NE) e estande final (EF), mostrando ser o fator que descreve a população de plantas das combinações híbridas de milho.

O terceiro fator (CFR-3) correlacionou-se fortemente apenas com a altura de plantas (AP). Trata-se do fator relacionado ao crescimento de plantas das combinações híbridas de milho.

A altura de espigas (AE) correlacionou-se fracamente com os três fatores, tendo a mais baixa comunalidade. No entanto, apresentou correlação de 0,83 com a AP, portanto, as duas características estabelecem um único fator, relacionado ao crescimento das plantas.

No experimento na Estação Experimental do Aeroporto (Quadro 5), o primeiro fator (CFR-1) correlacionou-se mais fortemente com o NE e EF, mostrando ser o que descreve a população de plantas das combinações híbridas de milho.

O segundo fator (CFR-2) correlacionou-se fortemente com as características AP e AE, sendo, portanto, relacionado ao crescimento de plantas das combinações híbridas de milho.

Em todas as características associadas aos dois fatores, a comunalidade foi superior a 0,84.

As características PG e PE correlacionaram-se fracamente com os dois fatores, porém apresentaram altas comunalidades, indicando que a proporção da variância total de cada característica explicada pelo conjunto de fatores comuns é elevada. A correlação apresentada pelas duas características foi de 0,98.

Nos Quadros 6 e 7 são apresentados os escores fatoriais que quantificam o efeito de cada fator comum na expressão dos caracteres, em cada local. Esses escores, de acordo com Johnson e Wichern (9), são freqüentemente usados com o propósito de diagnóstico, isto é, os escores obtidos na análise de fatores podem ser utilizados como critérios de identificação de genótipos superiores. Eles têm sido apontados por Castoldi (2) como alternativa viável no melhoramento ou podem ser utilizados em outro tipo de análise, com cada fator envolvendo um grupo de características correlacionadas e, portanto, com interpretações biológicas. Assim, é possível encontrar, entre os fatores, aqueles de significado biológico ou econômico e, portanto, a seleção seria eficientemente praticada por métodos que envolvam os pesos biológicos e econômicos, simultaneamente (1).

O maior escore do fator 1 (produtividade) foi obtido pela combinação híbrida AG 405 x AG 8012; do fator 2 (população de plantas), por AG 122 x AG 8012, AG 8012 x C 901 e C 505 x C 901, e do fator 3 (crescimento de plantas), por AG 122 x C 505 e AG 405 x C 505 (Quadro 6).

Obtiveram-se os maiores escores no fator 1 (população de plantas), por meio de AG 122 x AG 8012 e AG 122 x C 901, e no fator 2 (crescimento de plantas), com AG 122 x C 505, AG 405 x C 505 e C 505 x C 901 (Quadro 7).

QUADRO 6 - Escores dos cruzamentos dos três fatores, obtidos do experimento na Estação Experimental de Coimbra			
Cruzamentos	Escore		
	FAT 1	FAT 2	FAT 3
AG 122 x AG 405	4,2711	9,4706	7,7621
AG 122 x AG 8012	5,0624	10,7538	9,0557
AG 122 x C 505	5,0908	9,1518	10,1957
AG 122 x C 901	6,2818	8,537	9,4021
AG 405 x AG 8012	7,7834	9,6145	9,3994
AG 405 x C 505	5,2636	9,5319	11,0273
AG 405 x C 901	5,5877	9,6932	8,9612
AG 8012 x C 505	5,0088	8,7771	9,1349
AG 8012 x C 901	6,6045	10,2532	7,8123
C 505 x C 901	5,5285	11,9458	9,9501

QUADRO 7 - Escores dos cruzamentos dos dois fatores, obtidos do experimento na Estação Experimental do Aeroporto		
Cruzamentos	Escore	
	FAT 1	FAT 2
AG 122 x AG 405	9,2338	13,479
AG 122 x AG 8012	10,9665	15,3264
AG 122 x C 505	9,4494	16,4278
AG 122 x C 901	10,2279	14,6638
AG 405 x AG 8012	9,821	14,7442
AG 405 x C 505	9,3582	16,5674
AG 405 x C 901	7,7443	15,6052
AG 8012 x C 505	7,8886	14,8588
AG 8012 x C 901	8,6627	15,7731
C 505 x C 901	9,7939	16,5997

Nos Quadros 8 e 9 são apresentados os efeitos da capacidade geral de combinação (CGC), obtidos a partir da análise dos escores dos três e dois fatores, respectivamente, em cada local.

Em Coimbra, no fator 1, que determina a produtividade das combinações híbridas de milho, os maiores efeitos da CGC foram obtidos por AG 8012 e C 901. No fator 2, que determina a população de plantas de milho, foi o C 901, e no fator 3, que expressa o crescimento das plantas de milho, C 505 (Quadro 8).

Estimativas dos efeitos de CGC proporcionam informações sobre a concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos (4);

portanto, genitores com estimativas positivas de CGC são os que mais contribuem para o aumento da expressão do caráter em questão.

Em Coimbra, AG 8012 e C 901 foram os mais promissores em relação ao aumento da produtividade, enquanto AG 122 e C505 foram os que menos contribuíram. Com relação à população de plantas, C 901 foi o que mais contribuiu para aumentar essa característica, enquanto AG 122 e AG 405 foram os que menos contribuíram. Quanto ao crescimento das plantas, C 505 produziu combinações híbridas com maior altura, e AG 122, AG 8012 e C 901 as menores.

QUADRO 8 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos três fatores, obtidas do experimento na Estação Experimental de Coimbra			
Genitores	Efeito da CGC		
	FAT 1	FAT 2	FAT 3
AG 122	-0,63466	-0,392787	-0,221573
AG 405	0,10804	-0,260453	0,023227
AG 8012	0,625807	0,102347	-0,55934
C 505	-0,572793	0,105013	1,075893
C 901	0,473607	0,44588	-0,318207

QUADRO 9 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos dois fatores, obtidas do experimento na Estação Experimental do Aeroporto		
Genitores	Efeito da CGC	
	FAT 1	FAT 2
AG 122	0,873027	-0,57372
AG 405	-0,367073	-0,407453
AG 8012	0,02676	-0,30522
C 505	-0,25614	0,94518
C 901	-0,276573	0,341213

No ensaio no Aeroporto, AG 122 apresentou maior CGC no fator 1, que determina a população de plantas de milho, e C 505 no fator 2, que expressa o crescimento das plantas (Quadro 9).

Com base nos resultados, no ensaio no Aeroporto o fator produtividade não foi encontrado, sugerindo que neste local, por ser área experimental nova e, conseqüentemente, com solo de baixa fertilidade, as combinações híbridas sofreram alta influência quanto ao déficit hídrico e estresses nutricionais. Isso determinou a baixa produtividade, em relação ao ensaio em Coimbra, que é uma área experimental mais antiga e com

solo de fertilidade elevada, devido ao constante uso. Em relação ao crescimento de plantas, AG 122 teve comportamento diferenciando em relação aos de estresses hídrico e nutricional, isto é, no Aeroporto este genitor foi o que mais contribuiu para o crescimento das combinações híbridas, mostrando ser tolerante ao déficit hídrico e responsivo à baixa fertilidade. Em resumo, este genitor parece ser mais adaptado às condições ambientais no Aeroporto.

Em relação às estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC), obtidas em Coimbra (Quadro 10), no fator 1, que determina a produtividade das combinações híbridas de milho, a maior foi obtida por AG 405 x AG 8012, ou seja, esta é a combinação mais promissora em relação à produtividade, por possuir maior CEC e ter um dos genitores com maior CGC. Quanto ao fator 2, que determina a população de plantas de milho, AG 122 x AG 8012 e C 505 x C 901 apresentaram as maiores estimativas da CEC. No fator 3, que expressa o crescimento das plantas de milho, AG 122 x C 901, AG 405 x C 505 e AG 405 x C 901 apresentaram maiores CEC.

QUADRO 10 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) dos três fatores, obtidos do experimento na Estação Experimental de Coimbra			
Cruzamentos	Efeito da CEC		
	FAT 1	FAT 2	FAT 3
AG 122 x AG 405	-0,8477	0,3509	-1,3097
AG 122 x AG 8012	-0,5742	1,2713	0,5665
AG 122 x C 505	0,6244	-0,3334	0,0713
AG 122 x C 901	0,7974	-1,289	0,6718
AG 405 x AG 8012	1,4041	-0,0003	0,6654
AG 405 x C 505	0,0829	-0,0856	0,6581
AG 405 x C 901	-0,6394	-0,2652	-0,0139
AG 8012 x C 505	-0,6897	-1,2032	-0,6518
AG 8012 x C 901	-0,1404	-0,068	-0,5803
C 505 x C 901	-0,0178	1,622	-0,0777

No ensaio no Aeroporto (Quadro 11), C 505 x C 901 apresentou maior CEC no fator 1, que determina a população de plantas de milho, enquanto em AG 122 x AG 8012 observou-se a maior CEC no fator 2, que expressa o crescimento das plantas.

Segundo Cruz e Regazzi (4), os efeitos da CEC são estimados como desvio do comportamento, em relação ao que seria esperado com base na

CGC, isto é, são medidas dos efeitos gênicos não-aditivos. Assim, normalmente interessam ao melhorista as combinações híbridas com estimativas de CEC mais favorável, que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado o efeito da CGC mais favorável.

QUADRO 11 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) dos três fatores, obtidos do experimento na Estação Experimental do Aeroporto		
Cruzamentos	Efeito da CEC	
	FAT 1	FAT 2
AG 122 x AG 405	-0,5868	-0,9444
AG 122 x AG 8012	0,7521	0,8008
AG 122 x C 505	-0,4821	0,6518
AG 122 x C 901	0,3168	-0,5083
AG 405 x AG 8012	0,8467	0,0523
AG 405 x C 505	0,6668	0,6251
AG 405 x C 901	-0,9267	0,2669
AG 8012 x C 505	-1,1966	-1,1857
AG 8012 x C 901	-0,4021	0,3325
C 505 x C 901	1,012	-0,0913

CONCLUSÕES

1) A análise dialélica com base nos escores, obtidos da análise de fatores, é eficiente para estimar as capacidades geral e específica de combinação dos genitores e das combinações de híbridos comerciais de milho.

2) Os genitores AG 8012 e C 901 possuem maior concentração dos genes predominantemente aditivos, em relação ao fator produtividade.

3) O genitor AG 122 possui comportamento diferenciado, em relação ao crescimento de plantas em estresses ambientais.

REFERÊNCIAS

1. ABREU, V.M.N. Estudo da capacidade de combinação de linhagens de matrizes de frango de corte, utilizando técnicas uni e multivariadas. Viçosa, Programa de Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 111p. (Tese de Doutorado).
2. CASTOLDI, F.L. Estudo comparativo de diversos métodos de seleção multivariada em milho (*Zea mays* L.). Viçosa, Programa de Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 100p. (Tese de Doutorado).
3. CASTTELL, R.B. Factor analysis: Na introduction to essentials. I. The purpose and underlying models. *Biometrics*, 21(3): 190-215, 1965.
4. CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2 ed. Viçosa, Imprensa Universitária, UFV, 1997. 390p.

5. CRUZ, C.D. Programa Genes: Versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, Imprensa Universitária, UFV, 2001. 648p.
6. FANCELLI, A.L. & DOURADO-NETO, D. Produção de milho. Guaíba, Editora Agropecuária, 2000. 360p.
7. GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci.*, 9: 463-493, 1956.
8. HARMAN, H.H. Modern factor analysis. 2 ed, Chicago, University of Chicago Press, 1968. 467p.
9. JOHNSON, R.A. & WICHERN, D.W. Applied multivariate statistical analysis. 4 ed, New Jersey, Prentice-Hall, 1998. 816p.
10. KIM, J.O. Factor Analysis. In: Nie, H.H.; Hull, C.H.; Jenkins, J.G.; Steinbrenner, K.; Bent, D.H. (eds.). *Statistical package for the social sciences*. 2 ed, New York, McGrawHill, 1975. p.468-514.
11. PELÚZIO, J.B. Utilização de métodos multivariados na seleção em milho. Viçosa, Programa de Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 119p. (Tese de Doutorado).
12. RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos & ZIMMERMANN, M.J. de P. Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia, Editora da UFG, UFG, 1993. 271p.