

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM MILHO E SUAS RELAÇÕES COM OS CRUZAMENTOS DIALÉLICOS¹

DANIEL FURTADO FERREIRA², ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA,
MANOEL XAVIER DOS SANTOS³ e MAGNO ANTÔNIO PATTO RAMALHO⁴

RESUMO - Avaliou-se a utilização das técnicas multivariadas para se estimar a divergência genética como auxiliar dos melhoristas de milho (*Zea mays* L.) na identificação de materiais promissores para a obtenção de híbridos ou de populações com ampla base genética. Vinte e oito variedades de diferentes origens foram avaliadas isoladamente, nas gerações S_0 e S_1 , e também em combinações híbridas através de um cruzamento dialélico. Esses materiais juntamente com sete testemunhas foram avaliados utilizando um látice simples 21 x 21, em Sete Lagoas, MG. Nas vinte e oito populações isoladas, gerações S_0 , foram coletados dados de dezesseis caracteres, os quais foram submetidos às análises multivariadas. Observou-se que a avaliação da divergência genética, através das técnicas multivariadas, realizada *a priori* nessas populações, evitaria a realização da maioria dos cruzamentos, com redução no custo e melhoria da precisão das avaliações; a divergência detectada foi pequena, restringindo-se basicamente à variedade BAIH-TUSON e BR 136 em relação às demais. Esse fato contribuiu para que houvesse pequena variação nas estimativas da capacidade específica de combinação e heterose.

Termos para indexação: distância de Mahalanobis, análise de agrupamento.

METHODS TO EVALUATE THE GENETIC MAIZE DIVERGENCE AND ITS RELATION WITH THE DIALLELIC CROSSINGS

ABSTRACT - The utilization of the multivariate techniques to estimate the genetic divergence was evaluated to help maize (*Zea mays* L.) breeders to identify promising materials to obtain hybrids or populations with large genetic variability. With this purpose, twenty eight populations, with different origins were evaluated in a competition assay with the generations S_0 and S_1 , and in hybrid combinations on a diallel crossing system. Beyond these populations, seven testers were used, that were evaluated in a simple lattice 21 x 21 in Sete Lagoas, MG, Brazil. Measurements were made in the S_0 generation based in sixteen traits, and multivariate analysis was performed on this data. Later, divergence was evaluated with the multivariate distance (generalized Mahalanobis). It should be noticed that: multivariate evaluation of genetic divergence before any crossing would avoid many crosses to be made, reducing the cost and increasing the precision of experiments; genetic divergence was small and due to the variety BAIH-TUSON and BR 136 related to the others. This fact was responsible to the small variation on the estimates of the combining ability and heterosis.

Index terms: generalized Mahalanobis distance, clustering methods.

¹ Aceito para publicação em 15 de agosto de 1995.

² Eng. Agr., M.Sc., Dep. Biol., Univ. Fed. de Lavras, UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG.

³ Eng. Agr., Dr., EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG.

⁴ Eng. Agr., Dr., Prof. Titular Dep. Biol., Univ. Fed. de Lavras, UFLA.

INTRODUÇÃO

Ao se iniciar um programa de melhoramento de plantas, um dos pontos fundamentais é a escolha dos pais para obter populações de ampla base genética onde a seleção atuará. Isto é conseguido quando se alia uma alta média e uma ampla variabilidade genética para o caráter a ser selecionado.

Uma alternativa para a escolha dos pais baseia-se na análise do seu comportamento isolado e no resultado dos cruzamentos dialélicos. Nos cruzamentos dialélicos, pode-se estimar a capacidade geral e específica de combinação (Griffing, 1956) ou os componentes da heterose (Gardner & Eberhart, 1966). No entanto, a necessidade de realização de grande número de cruzamentos manuais e principalmente a condução de experimentos envolvendo um número excessivo de híbridos limitam a utilização dos cruzamentos dialélicos.

Pelo menos a princípio, a partir de estimativas da divergência genética entre as populações, é possível obter inferências sobre a capacidade específica de combinação, e, conseqüentemente, da heterose, sem a utilização dos cruzamentos dialélicos. Assim, medidas da divergência genética obtidas antes que qualquer cruzamento seja realizado podem auxiliar os melhoristas a concentrar seus esforços somente nas combinações mais promissoras, pois a heterose, manifestada nos cruzamentos, está diretamente relacionada à divergência genética entre seus pais (Falconer, 1981). As técnicas multivariadas baseadas nas múltiplas informações fenotípicas, relacionando as diferenças fisiológicas, morfológicas e agrônômicas dos pais, têm sido amplamente utilizadas com tal propósito (Rao et al., 1981; Singh et al., 1981; Cruz, 1990).

Por essas razões, realizou-se o presente trabalho, que teve por objetivo principal estudar a viabilidade da utilização das técnicas de análise multivariadas na previsão do comportamento de híbridos na cultura do milho (*Zea mays* L.), com base em informações dos pais, visando auxiliar os melhoristas na identificação de materiais mais promissores para o programa de melhoramento.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se os dados de um cruzamento dialélico, conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, no ano agrícola de 1991/92. O trabalho envolveu basicamente três etapas distintas: i) avaliação da divergência dos pais; ii) obtenção das estimativas dos componentes genéticos de média do cruzamento dialélico; e iii) obtenção das correlações entre as estimativas das distâncias multivariadas com os componentes genéticos do cruzamento dialélico.

O delineamento experimental foi o látice simples 21 x 21, e os tratamentos, constituídos por 28 variedades de milho (*Zea mays* L.), descritas na Tabela 1, seus 378 híbridos, resultantes do cruzamento dos pais tomados 2 a 2, em todas as combinações possíveis, as respectivas 28 progênies S₁'s (S₀ autofecundadas), e sete testemunhas. A parcela experimental foi constituída de duas linhas de 5 m de comprimento, com espaços, entre si, de 1 m, com 25 plantas por linha.

Para a avaliação da divergência genética entre os pais, foram tomados dados de dezesseis caracteres de cinco plantas competitivas, amostradas de cada parcela útil. Os caracteres avaliados foram: altura da planta (AP), altura da espiga (AE), número de folhas (NF), comprimento das folhas (CF), tamanho do pendão (TP), número de ramificações do pendão (NRP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da espiga (CE), número de fileiras/espiga (NFE), produção de espiga (t/ha) (PE), número de espigas (NE), diâmetro de sabugo (DS), diâmetro de espiga (DE), dias para o florescimento masculino (FM), dias para o florescimento feminino (FF) e estande final (EF).

A análise da variância multivariada foi realizada para avaliação da variabilidade genética global existente entre as variedades (Morrisson, 1967; Bock, 1975; Johnson & Wichern, 1988).

Para a formação dos grupos de similaridades entre os pais, foi utilizado o método hierárquico aglomerativo do vizinho mais próximo, apresentado por Johnson & Wichern (1988). A distância de Mahalanobis (D^2_{ij}) foi utilizada como medida de dissimilaridade.

TABELA 1. Populações utilizadas no estudo da divergência genética em milho (*Zea mays* L.), avaliadas em Sete Lagoas, MG, 1991/92.

População	População	População
CMS 01	CMS 14 C	CMS 50
CMS 02	CMS 15	SINT. ELITE
CMS 03	CMS 22	PH 4
CMS 04 N	CMS 23	CUNHA
CMS 04 C	BR 126	BAIII-TUSON
BR 105	CMS 28	SARACURA
BR 106	CMS 29	NITROFLINT
BR 107	CMS 30	NITRODENT
BR 111	BR 136	
BR 112	CMS 39	

Além disso, foi estimada a depressão por endogamia da produção de espigas pelo método apresentado por Vencovsky & Barriga (1992), e realizou-se a análise dialélica de acordo com o modelo proposto por Griffing (1956), método IV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância multivariada, através do critério de Wilks, obteve-se um valor de $\Lambda = 8,4398 \times 10^{-11}$, correspondente a um F de 2,817 com 432 e 227 graus de liberdade, respectivamente, o qual foi significativo ($P < 0,01$), o que indica haver divergência genética entre as variedades.

O resultado do agrupamento das vinte e oito variedades com base nas distâncias de Mahalanobis é apresentado no dendograma (Fig. 1) obtido pelo método do vizinho mais próximo. Pode-se observar que a variedade BAIIII-TUSON formou um grupo isolado, e o mesmo ocorreu com a BR 136, e as demais variedades formaram um terceiro grupo com distâncias bem similares entre si.

A divergência genética, por sua vez, é uma medida sempre relativa, como o da capacidade de combinação, e, segundo Falconer (1981), está diretamente relacionada com a diferença nas frequências alélicas. Na sua estimação, vários métodos têm sido utilizados, mas uma característica comum em todas elas é o envolvimento de vários caracteres. Com as facilidades computacionais atuais, os métodos de análise multivariada têm recebido grande atenção (Goodman, 1968; Hussaini et al., 1977; Viana et al., 1991). Neste trabalho, as técnicas multivariadas permitiram a constatação de variabilidade entre os pais ($p < 0,01$). Contudo, observa-se que, apesar de ter sido detectada a divergência, esta restringiu-se ao pai BAIIII-TUSON, em maior intensidade, e à BR 136 em relação às demais variedades (Fig. 1).

A análise dialélica pelo método IV de Griffing (1956) mostrou diferenças significativas somente quanto à capacidade geral de combinação (CGC) (Tabela 2).

A análise dialélica ressaltou a baixa variabilidade da capacidade específica de combinação (CEC) e a presença da capacidade geral de combinação (CGC) significativa para produção de espigas. Como a CEC não foi fator importante, a melhor escolha dos pais

deveria ser baseada nos maiores valores da capacidade geral de combinação. Dessa forma, apesar de a variedade BAIIII-TUSON ter sido a variedade mais divergente em relação às demais, apresentou baixa capacidade geral de combinação.

As maiores estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação foram: 0,71 t/ha para a variedade CMS 50, 0,55 t/ha para a variedade CMS 28 e 0,47 t/ha para a variedade CUNHA, valores estes que corresponderam a 10,2%, 9,49% e 6,18% das médias, respectivamente. E as menores estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação foram: -0,83 t/ha para a variedade CMS-01, -0,60 t/ha para a variedade BAIIII-TUSON, e -0,57 t/ha para a variedade CMS 02, valores estes que corresponderam a 14,87%, 17,80% e 10,07% das médias, respectivamente. Tais resultados demonstraram o pior desempenho da variedade BAIIII-TUSON.

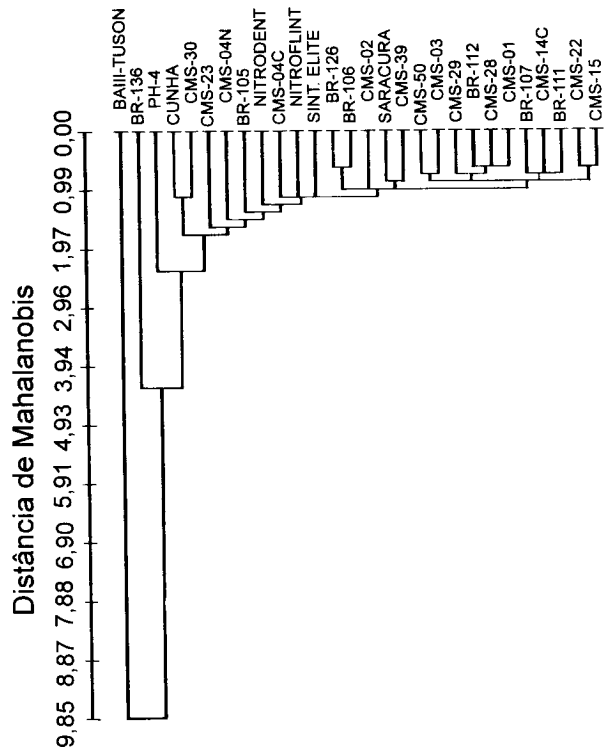


FIG. 1. Dendrograma obtido pelo método do vizinho mais próximo, a partir da distância de Mahalanobis, para as vinte e oito variedades, Sete Lagoas, MG, 1991/92.

Considerando apenas um loco, a capacidade geral de combinação é fornecida por $(p-\bar{p})[\alpha+(1-2\bar{r})\delta]$, onde p é a frequência do alelo favorável no material considerado; \bar{p} é a média do referido alelo em todas as populações envolvidas; α e δ referem-se à contribuição dos locos em homozigose e heterozigose em relação à contribuição média dos homozigotos do referido gene; e \bar{r} é a frequência média do alelo considerado no testador. Já a capacidade específica de combinação, por sua vez, é fornecida por $2[(\bar{p}-p)(r-\bar{r})]\delta$, onde p , \bar{p} , r , \bar{r} e δ possuem os mesmos significados acima descritos (Vencovsky & Barriga, 1992).

A heterose é outra estimativa a ser considerada, principalmente para obtenção de híbridos. Falconer (1981) mostra que a heterose (h) nos híbridos F_1 's, para uma característica de herança quantitativa, é função de: $h_{F_1} = \sum_i \delta_i Y_i^2$, onde: Y_i é a diferença das frequências alélicas entre as duas populações inter cruzadas para o i -ésimo loco, e δ_i tem o mesmo significado anterior. Depreende-se, assim, que os conceitos de capacidade específica de combinação e de heterose são muito semelhantes.

Algumas considerações devem ser feitas: a primeira delas, e talvez a mais importante, é que não houve diferenças significativas quanto à capacidade específica de combinação (Tabela 2); a depressão por endogamia em relação à produção de espigas foi relativamente alta na maioria das populações avaliadas, como pode ser constatado pelas estimativas do contraste S_0-S_1 , isto é, a média da população não-endogâmica menos a média da

população após uma geração de autofecundação (Tabela 3). Observou-se que a maior estimativa desse contraste foi de 4,57 t/ha em relação ao pai CMS 39, e a menor, de -1,18 t/ha em relação ao pai BAIII-TUSON, que, apesar de negativa, não foi significativamente diferente de zero. Constatou-se grande variação entre essas estimativas, e a depressão por endogamia média de 2,42 t/ha, o que representa 36,34% da média geral das populações não-endogâmicas (S_0). Através do contraste S_0-S_1 , considerando o modelo sem epistasia, o qual estima $(1/2)\sum_i \delta_i$ (Vencovsky & Barriga, 1992), pode-se inferir que a dominância estava presente.

Como já comentado, a baixa variabilidade quanto à capacidade específica de combinação e quanto à heterose pode ser devida a: a) ausência de dominância; b) ausência de divergência; e c) ausência de dominância e ausência de divergência entre os pais, simultaneamente.

No presente estudo, não houve efeito significativo na capacidade específica de combinação (Tabela 2), dada a ausência de divergência entre os pais, uma vez que a dominância foi constatada pela ocorrência de depressão por endogamia significativa. A ausência de divergência entre os materiais, com exceção das variedades BAIII-TUSON e BR 136 - que apresentaram divergência em relação aos demais pais -, resultou na ausência de variação para a distância de Mahalanobis e para a capacidade específica de combinação.

Como a capacidade de combinação e a heterose são diretamente proporcionais à divergência genética, maiores são as chances de se obter uma combinação híbrida promissora através desse critério. Deve ficar claro que a divergência genética é uma condição necessária para que haja heterose, mas não é suficiente para garantir sua ocorrência (Cress, 1966), pois esta depende não só das diferenças de frequências alélicas, mas também da dominância.

As técnicas multivariadas, quando comparadas ao resultado dos cruzamentos dialélicos, demonstraram que a maioria dos cruzamentos realizados seria desnecessária, em vista da baixa divergência ou da não-adaptabilidade do material de estudo. Dessa forma, um ensaio preliminar envolvendo somente os pais seria útil na determinação das variedades que teriam boa capacidade de combinação. Associado a

TABELA 2. Análise dialélica pelo método de Griffing (1956), para produção de espigas (t/ha) em Sete Lagoas, MG 1991/92.

FV	GL	QM
Cruzamento	377	0,874
CGC ¹	27	3,534**
CEC ²	350	0,668
Resíduo	440	0,667

** Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

¹ Capacidade geral de combinação.

² Capacidade específica de combinação.

TABELA 3. Depressão por endogamia dos pais, obtida a partir do contraste S_0-S_1 para produção de espigas (t/ha) em Sete Lagoas, MG, 1991/92.

Tratamento genético	Depressão por endogamia	Tratamento genético	Depressão por endogamia
CMS 01	2,33*	BR 126	2,19
CMS 02	2,57*	CMS 28	0,60
CMS 03	2,80*	CMS 29	4,36**
CMS 04N	1,98	CMS 30	3,71**
CMS 04C	2,09	BR 136	2,08
BR 105	2,27*	CMS 39	4,57**
BR 106	2,11	CMS 50	3,13**
BR 107	2,48*	SINT. ELITE	3,31**
BR 111	1,48	PH 4	1,26
BR 112	1,48	CUNHA	4,03**
CMS 14C	1,20	BAlII-TUSON	-1,18
CMS 15	3,34**	SARACURA	3,21**
CMS 22	2,25	NITROFLINT	2,19
CMS 23	2,90*	NITRODENT	3,15**

* Significativo pelo teste F a 5%.

** Significativo pelo teste F a 1%.

esse fato, existe também a vantagem de possibilitar a avaliação de um maior número de pais, selecionando os mais divergentes e realizando um menor número de cruzamentos, com maiores chances de se obter sucesso (Hallauer & Miranda Filho, 1981).

Deve ser enfatizado que a maioria dos melhoristas, quando não há significância para o CEC mas apenas para a CGC, argumenta que isso ocorre por causa da ausência de dominância no controle do caráter ($\delta = 0$). Neste experimento, por exemplo, a CEC foi praticamente nula, a CGC foi significativa, porém o δ não foi nulo, como se detectou pela depressão por endogamia. Assim, a nulidade da CEC deve ser atribuída à pequena divergência genética (frequências alélicas semelhantes), como foi demonstrado pelas análises multivariadas. Depreende-se, assim, que as análises multivariadas podem também ser um instrumento dos melhoristas na explicação de certos resultados experimentais.

CONCLUSÕES

1. A avaliação da divergência genética através das técnicas multivariadas, realizada *a priori* nessas populações, evitaria a realização da maioria dos

cruzamentos, com redução no custo e melhoria da precisão das avaliações.

2. A divergência detectada foi pequena, restringindo-se basicamente à variedade BAlII-TUSON e à BR 136 em relação aos demais pais. Devido a este fato, não ocorreu variação significativa entre as estimativas da capacidade específica de combinação e heterose.

REFERÊNCIAS

- BOCK, R.D. **Multivariate statistical methods in behavioral research**. New York: McGraw-Hill, 1975. 623p.
- CRESS, C.E. Heterosis of hybrid related to gene frequency differences between two populations. **Genetics**, v.53, p.269-274, Feb. 1966.
- CRUZ, C.D. **Aplicações de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 188p. Tese de Doutorado.
- FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. 2.ed. London: Longman, 1981. 340p.
- GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of variety cross diallel and related

- populations. **Biometrics**, Raleigh, v.22, p.439-452, Sept. 1966.
- GOODMAN, M.M. The races of maize: II. Use of multivariate analysis of variance to measure morphological similarity. **Crop Science**, Madison, v.8, p.693-698, Nov./Dec. 1968.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v.9, p.463-493, 1956.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetic in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1981. 468p.
- HUSSAINI, S.H.; GOODMAN, M.M.; TIMOTHY, D.H. Multivariate analysis and the geographical distribution of the world collection of finger millet. **Crop Science**, Madison, v.17, p.257-263, Mar./Apr. 1977.
- JOHNSON, R.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 2.ed. New York: Prentice-Hall, 1988. 607p.
- MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. New York: McGraw-Hill, 1967. 415p.
- RAO, A.V.; PRASAD, A.S.R.; KRISHNA, T.S.; SESHU, D.V.; SRINIVASAN, T.E. Genetic divergence among some brown planthopper resistant rice varieties. **Indian Journal of Genetics & Plant Breeding**, New Delhi, v.41, n.2, p.179-185, July 1981.
- SINGH, Y.P.; KUMAR, A.; CHAUHAN, B.P.S. Genetic divergence in pearl millet. **Indian Journal of Genetics & Plant Breeding**, New Delhi, v.41, n.2, p.186-190, July 1981.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.
- VIANA, J.M.S.; CARDOSO, A.A.; CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; GIÚDICE, R.M. del. Genetic divergence in sugar cane (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.14, n.3, p.753-763, Set. 1991.