

HETEROSE E CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE ESPIGAS EM CRUZAMENTOS DIALÉLICOS DE SEIS VARIEDADES DE MILHO¹

MAURÍCIO A. LOPES², ELTO E.G. e GAMA³, RONALDO T. VIANNA⁴ e
ISABEL R.P. DE SOUZA²

RESUMO - Este estudo teve o objetivo de estimar os efeitos das capacidades geral e específica de combinação, e os valores de heterose, na produção de espigas de cruzamentos dialélicos parciais entre seis variedades de milho (*Zea mays* L.) em melhoramento, no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, (CNPMS), em Sete Lagoas, MG. Os tratamentos compreenderam as variedades CMS 05, CMS 04, CMS 22, CMS 11, CMS 12 e CMS 28, além dos seus quinze híbridos intervarietais (F₁). A análise conjunta de variância para produção de espigas mostrou efeitos significativos ($P < 0.01$) para as capacidades geral e específica de combinação e para as interações com locais. Tais resultados indicam variabilidade originada de efeitos gênicos aditivos e não-aditivos. As variedades CMS 04 e CMS 05 apresentaram, respectivamente, os maiores valores para efeitos de capacidade geral de combinação, 142,82 e 233,93, e média geral para peso de espigas de 4.528 kg/ha e 4.445 kg/ha, respectivamente. Os maiores efeitos para capacidade específica de combinação corresponderam aos cruzamentos CMS 05 x CMS 28 com 462,28 e CMS 11 x CMS 28 com 392,87. Os valores percentuais de heterose em relação à média dos pais foram de 21,16% e 17,49% e em relação ao pai mais produtivo foram de 12,92% e 13,28%, para os dois híbridos intervarietais citados. A média de produção das variedades parentais (4.127 kg/ha) foi inferior à média dos seus quinze híbridos (4.433 kg/ha). A maior produção média, 5.026 kg/ha, resultou do cruzamento entre as variedades CMS 05 e CMS 28.

Termos para indexação: híbridos intervarietais, capacidades geral e específica.

HETEROISIS AND COMBINING ABILITY FOR EAR YIELD IN A DIALLEL CROSS AMONG SIX MAIZE VARIETIES

ABSTRACT - The objective of this study was to estimate the general and specific combining ability effects and heterosis value for ear yield from a diallel cross among six varieties of maize (*Zea mays* L.) under breeding at the Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) at Sete Lagoas, MG, Brazil. The treatments were: CMS 04, CMS 05, CMS 11, CMS 12, CMS 22, CMS 28 and their 15 possible F₁ hybrids. The combined analysis showed general and specific effects to be highly significant ($P < 0.01$) as well as their interactions with locations. There is an indication of variability among varieties with the presence of additive and nonadditive gene effects. The varieties CMS 04 and CMS 05 presented the highest values for general combining ability effects, 142.82 and 233.93, and mean ear weights of 4.528 kg/ha and 4.445 kg/ha, respectively. The hybrids CMS 05 x CMS 28 and CMS 11 x CMS 28 presented the highest values for specific combining ability effects of 462.28 and 392.87, respectively. Heterosis percentual values related to parental mean were 21.16% and 17.49% and to the highest yielding parent were 12.92% and 13.28% for the hybrids CMS 05 x CMS 28 and CMS 11 x CMS 28, respectively. Mean yield of parentals (4.127 kg/ha) was lower than mean yield of the 15 hybrids (4.433 kg/ha). The highest mean yield was 5.026 kg/ha for the hybrid CMS 05 x CMS 28.

Index terms: varietal hybrids, general and specific combining ability.

INTRODUÇÃO

O trabalho com populações de milho e seus cruzamentos é de muita importância num programa de melhoramento. Vários estudos têm sido feitos com as variedades existentes, em relação à capaci-

dade de produção e valor para produção de híbridos intervarietais. Considerando estes aspectos e levando em conta os efeitos genéticos aditivos e não aditivos, Sprague & Tatum (1942) propuseram os conceitos de capacidade geral e específica de combinação, relacionados, respectivamente, a efeitos gênicos dominantes e epistáticos. Este tipo de informação pode ser obtida através de um método genético-estatístico que usa cruzamentos dialélicos, nos quais os tipos de ação gênica que controlam os caracteres quantitativos podem ser avaliados em termos de capacidade combinatória. Com base nestes conceitos, métodos de análise foram

¹ Aceito para publicação em 23 de janeiro de 1985.

² Eng. - Agr., CNPq, EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas, MG.

³ Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/CNPMS.

⁴ Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA/CNPMS.

propostos por Yates (1947), Hayman (1954, 1958, 1960) e Gardner & Eberhart (1966). Griffing (1956) desenvolveu um método de análise de variância para estimação dos parâmetros de capacidade geral e específica de combinação em cruzamentos dialélicos, considerando quatro tabelas dialélicas e dois modelos distintos para análise.

O objetivo deste trabalho foi estimar os efeitos das capacidades geral e específica de combinação, além dos valores de heterose para o parâmetro produção de espigas, de cruzamentos dialélicos entre seis populações de milho em melhoramento, no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em oito locais: Guaíra, SP, Ituiutaba, MG, Guarapuava, PR, Viana, ES, Cruz Alta, RS, Ponta Porã, MS, Goiânia, GO e Rio Branco, AC. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições em 21 tratamentos. Os tratamentos compreenderam seis variedades do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo de Sete Lagoas, MG, e seus respectivos quinze híbridos intervarietais. As características das variedades usadas neste estudo encontram-se na Tabela 1. As parcelas foram formadas por quatro linhas de 4 m de comprimento cada, sendo considerada a área útil as duas fileiras centrais. O espaçamento entre fileiras foi de 1 m, e entre plantas, de 0,20 m. Foram plantadas duas sementes; quinze dias após a emergência, efetuou-se desbaste para uma planta por cova, obtendo-se uma população correspondente a 50 mil plantas/ha. A adubação empregada foi a indicada pela

TABELA 1. Algumas características das variedades de milho utilizadas nos cruzamentos.

Variedades	Características*			
CMS 05 (Suwan DMR)	OT	GA	SF	CI
CMS 04 (Amarillo Dentado)	OT	GA	D	CI
CMS 22 (Amarillo del Bajío)	OT	GA	SF	CI
CMS 11 (Pool 21)	OT	GA	F	CI
CMS 12 (Pool 22)	OT	GA	D	CI
CMS 28 (Tuxpeño Amarelo)	OT	GA	D	CI

- * OT = Origem tropical;
 GA = Grão amarelo;
 SF = Semiflint;
 CI = Ciclo intermediário;
 D = Dentado;
 F = Flint.

análise de solo de cada local utilizado para a instalação dos oito ensaios.

Neste estudo, foram utilizados os dados coletados para produção média de espigas, aplicando-se o modelo desenvolvido por Griffing (1956), método 2, modelo 1. Foram estimados os efeitos de capacidade geral específica de combinação. Os valores da heterose foram calculados através da comparação de cada híbrido com o valor da média dos pais e com o valor do pai mais produtivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de produção média de espigas (kg/ha) quadrado médio do erro e coeficiente de variação, para os oito locais estudados, são apresentados na Tabela 2. Excetuando-se Ituiutaba, MG, e Cruz Alta, RS, houve, de maneira geral, boa precisão nos ensaios. O experimento instalado em Ituiutaba apresentou menor média de produção (2.636 kg/ha), e o de Rio Branco apresentou a maior (5.379 kg/ha). O menor quadrado médio (QM) do erro foi obtido do experimento de Goiânia, GO, como também o menor coeficiente de variância (CV). O maior QM do erro foi obtido no experimento de Guarapuava, PR, e o maior CV, no de Ituiutaba.

A análise conjunta de variância para peso de espigas é apresentada na Tabela 3. O teste F indicou diferenças significativas ($P < 0.01$) entre os tratamentos para o parâmetro estudado, evidenciando que as variações foram devidas, principalmente, a diferenças predominantemente genotípicas. Os quadrados médios para capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) foram também significativos ($P < 0.01$). Tal fato mostra a existência de variabilidade originada de efeitos gênicos aditivos e não aditivos. Resultados similares foram encontrados por Gomide (1980), em trabalho com cruzamentos dialélicos entre variedades de milho. O quadrado médio da CGC foi bastante superior ao da CEC, mostrando que os efeitos genéticos aditivos são supostamente mais importantes na expressão da produção de espigas. Resultados semelhantes foram apresentados por Gnoatto (1969), Lima (1977), Pereira (1978) e Gomide (1980).

O alto valor de quadrado médio para CGC sugere que o efeito da capacidade geral de combinação é um fator importante a ser considerado nos pro-

TABELA 2. Produção média (kg/ha) de espigas de milho, quadrado médio do erro, e coeficiente de variação dos ensaios instalados em 8 locais, 1982/83.

Tratamento	Guafrá (SP)	Ituiutaba (MG)	Guarapuava (PR)	Jucuruaba (ES)	Cruz Alta (RS)	Ponta Porã (MS)	Goiânia (GO)	Rio Branco (AC)	Médias ¹
CMS 05 x 12	5.300	2.367	6.025	3.733	3.984	5.206	4.607	4.974	4.525 bcd
CMS 05 x 28	5.233	3.233	5.850	5.133	4.048	5.926	5.481	5.303	5.026 a
CMS 05 x 11	4.667	2.467	5.450	4.533	3.928	5.023	4.623	6.305	4.624 abc
CMS 05 x 22	4.633	2.600	5.500	4.700	3.362	4.420	4.566	5.243	4.378 bcdef
CMS 05 x 04	4.733	3.233	6.525	3.800	3.910	4.870	4.870	6.193	4.747 ab
CMS 12 x 22	4.333	3.166	5.224	4.100	2.563	4.926	4.519	5.229	4.258 cdef
CMS 12 x 11	4.133	2.400	4.875	3.733	3.011	4.635	4.453	5.714	4.119 bcde
CMS 12 x 28	4.266	3.133	5.250	4.466	4.466	3.149	5.316	4.582	4.329 bcd
CMS 12 x 04	3.400	2.900	5.875	4.300	4.103	5.143	4.857	5.704	4.535 bcd
CMS 11 x 22	4.366	2.400	4.774	3.800	2.615	5.413	4.530	5.198	4.137 defg
CMS 11 x 28	5.266	3.166	5.900	3.433	3.569	5.063	4.573	6.313	4.660 abc
CMS 11 x 04	4.800	2.233	5.150	4.233	3.135	4.830	5.055	5.226	4.333 cdef
CMS 22 x 28	5.033	2.666	4.325	3.633	2.063	4.963	4.665	4.585	3.992 fg
CMS 22 x 04	5.367	2.300	4.650	3.933	3.260	4.816	4.062	5.644	4.254 cdefg
CMS 04 x 28	5.800	2.100	5.750	4.000	4.116	5.021	4.462	5.306	4.569 bc
CMS 05	5.166	2.233	5.100	3.933	3.671	5.388	4.459	5.611	4.445 bcde
CMS 04	5.033	2.700	5.050	4.300	3.401	5.410	4.478	5.850	4.528 bcd
CMS 28	3.566	2.266	4.174	4.066	2.950	4.470	4.344	4.954	3.849 gh
CMS 22	3.466	2.900	3.275	3.133	1.837	5.436	3.646	4.775	3.559 h
CMS 11	4.966	2.100	4.450	4.066	2.996	4.681	4.691	5.191	4.143 defg
CMS 12	5.000	2.800	4.875	3.966	2.926	4.626	4.673	5.056	4.240 cdefg
Média	4.692	2.636	5.145	4.047	3.329	4.974	4.615	5.379	4.370
Quadrado médio do erro	426.896	352.546	524.589	383.562	450.986	401.914	198.285	391.542	371.526
CV%	13,9	22,5	12,2	15,2	20,5	13,5	9,2	11,5	17,9

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente, entre si (Duncan 5%).

gramas de melhoramento de populações, principalmente quando se objetiva a produção de compostos de milho. A significância da CGC indica, também, que estas populações apresentaram frequências para alelos aditivos (Naspolini Filho et al. 1981).

Os genótipos não produzem sempre efeitos constantes em cada ambiente, já que podem reagir de modo distinto a condições externas diferentes (Gnoatto 1969). Por esta razão destaca-se, mediante análise conjunta, a sensibilidade dos parâmetros com os locais. Neste estudo, a interação tratamento vs. local foi estatisticamente significativa, porém a relação entre o menor e o maior quadrado médio do erro para os oito locais não foi superior a três (Box 1954).

Os valores do teste F para a interação CGC vs. local e CEC vs. local foram também estatisticamente significativos ($P < 0.01$). Tal fato sugere que os efeitos de CGC e CEC não foram consistentes nos diversos ambientes estudados (Naspolini Filho et al. 1981). Matzinger et al. (1959) e Gnoatto (1969) obtiveram, em estudos semelhantes, resultados que foram concordantes com os obtidos neste trabalho. Robinson & Moll, citados por Gnoatto (1969), apresentaram, porém, evidências experimentais de que estes resultados são limitados e não conclusivos quando se quer relacionar efeitos genéticos aditivos com não-aditivos, quando medidos em ambientes diferentes.

As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) e produção média (kg/ha), para cada variedade, encontram-se na Tabela 4. Baixas estimativas de \hat{g}_i indicam genótipos com combinações que não diferem muito da média de todos os cruzamentos no sistema dialélico. Altos valores das estimativas de \hat{g}_i (com sinal positivo ou negativo) indicam genótipos melhores ou piores que os restantes, com os quais se compara. Estes valores indicam, portanto, a importância dos genes de efeitos predominantemente aditivos (Sprague & Tatum 1942).

TABELA 4. Média geral para peso de espigas (kg/ha) e estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) para cada uma das seis populações testadas em oito locais, 1982/83.

	Produção média (kg/ha)	\hat{g}_i
CMS 04	4.528	142,82
CMS 05	4.445	233,93
CMS 11	4.143	- 39,84
CMS 12	4.240	- 6,10
CMS 22	3.559	-316,56
CMS 28	3.849	- 14,24
\bar{X}	4.127	
Erro padrão ($\hat{g}_i = \hat{g}_j$); $i \neq j$ ($Me' = 15480,25$)		62,21

TABELA 3. Análise conjunta de variância para produção de espigas de seis cultivares de milho e seus quinze cruzamentos, testados em oito locais, 1982/83.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio
Local (L)	7	103.893.000**
Tratamento (T)	20	2.984.550**
Capacidade geral de combinação (G)	5	6.806.328**
Capacidade específica de combinação (E)	15	1.711.042**
T x L	140	701.469**
G x L	35	973.020**
E x L	105	692.565**
Erro	320	371.526

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

($Me' = Me/ab$)

Me = Quadrado médio do erro.

a = número de locais.

b = número de repetições.

Observando os resultados da Tabela 4, os maiores resultados foram constatados para as variedades CMS 04 e CMS 05. Estas, por apresentarem altos valores positivos deverão mostrar médias dos cruzamentos em que participam, superiores à média geral de todos os híbridos F₁'s. A variedade CMS 05, por exemplo, mostra distribuição genética nos cruzamentos em que participa. As variedades CMS 22 e CMS 11 apresentaram as maiores magnitudes de efeitos negativos. De forma contrária, estas variedades com altos valores negativos terão médias de seus cruzamentos menores que a média geral dos híbridos F₁'s. Desta forma, como exemplo, a variedade CMS 22 contribuirá com genes de ação aditiva que provocarão queda de produção nos cruzamentos em que participar.

As estimativas para os efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) e a produção média

de espigas para quinze cruzamentos estão apresentadas na Tabela 5.

De acordo com Sprague & Tatum (1942), baixos valores de \hat{s}_{ij} indicam que os valores envolvendo duas populações parentais, comportam-se como o esperado, com base na capacidade geral de combinação. Os altos valores (com sinal positivo ou negativo) indicam algumas combinações específicas que são melhores ou piores que o esperado, baseando-se na CGC dos progenitores. Deste modo, pode-se afirmar que, em grande parte, a CEC depende de genes que mostram efeitos de epistasia ou dominância.

As combinações que mostraram máximo efeito de CEC para produção de espigas foram CMS 05 x CMS 28 e CMS 11 x CMS 28. Os cruzamentos com altos efeitos de CEC (\hat{s}_{ij}) envolveram, usualmente, um alto combinante geral como um

TABELA 5. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}), percentagem de heterose para os cruzamentos relativos à média dos pais (MP) e pai mais produtivo (PMP), heterose média e produção média de espigas (kg/ha) para os quinze tratamentos, 1982/83.

Cruzamentos	\hat{s}_{ij}	Heterose (%)		Produção média (kg/ha)
		MP	PMP	
CMS 04 x 05	98,39	7,47	6,54	4.747
CMS 04 x 11	-117,72	0,32	- 3,93	4.333
CMS 04 x 12	78,04	4,15	0,98	4.535
CMS 04 x 22	54,85	5,63	- 6,16	4.254
CMS 04 x 28	120,17	10,00	1,71	4.569
CMS 05 x 11	88,65	7,95	4,24	4.624
CMS 05 x 12	- 17,75	4,97	2,65	4.525
CMS 05 x 22	129,11	10,70	- 0,89	4.378
CMS 05 x 28	462,28	21,16	12,92	5.026
CMS 11 x 12	-191,15	- 1,51	- 2,78	4.114
CMS 11 x 22	124,85	- 1,37	- 2,64	4.137
CMS 11 x 28	392,87	17,49	13,28	4.660
CMS 12 x 22	235,59	10,17	0,64	4.258
CMS 12 x 28	101,30	9,73	4,46	4.329
CMS 22 x 28	-5963	8,31	3,70	3.992
Média		7,68	3,13	4.433
Erro padrão ($\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{ik}$)*	164,59			
Erro padrão ($\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{kl}$)**	152,38			

* para $i \neq j, k; j \neq k$

** para $i \neq j, k, l; j \neq k, l; k \neq l$.
(Me' = 15480,25).

progenitor ou dois baixos combinantes gerais. As combinações CMS 11 x CMS 22 e CMS 04 x CMS 11 mostraram as maiores magnitudes de valores negativos para (\hat{s}_{ij}). Assim, se um determinado cruzamento mostra alto valor positivo ou negativo de \hat{s}_{ij} , entende-se que este valor seja devido aos efeitos gênicos não-aditivos, através da participação das populações envolvidas, produzindo acréscimos (ou decréscimos) na produção em relação ao esperado, com base na CGC dos progenitores.

Os efeitos heteróticos para produção de espigas relativos à média dos pais (MP) e pai mais produtivo (PMP) estão apresentados na Tabela 5. Os valores para heterose nos cruzamentos relativos a MP variaram de - 1,57% a 21,16% e, em relação ao PMP variaram de - 6,16% a 13,28%. A média de todos os cruzamentos foi de 7,68% para MP e 3,13% para PMP. Estas estimativas foram semelhantes para MP e maiores que PMP quando comparadas às obtidas por Galal (1970), que obteve valores de 6,4% para MP e - 0,80% para PMP. Os dois cruzamentos CMS 11 x 28 e CMS 05 x 28 foram os que apresentaram maiores valores para os efeitos heteróticos relativos a MP e PMP, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. A significância das capacidades geral e específica de combinação indica que as populações diferem na frequência de alelos aditivos e não-aditivos favoráveis.

2. As variedades CMS 04 e CMS 05 apresentaram os maiores valores na estimativa da capacidade geral de combinação, podendo ser, portanto, uma escolha adequada para a utilização em compostos de variedades.

3. Os cruzamentos CMS 05 x 28 e CMS 11 x 28 alcançaram os maiores valores na estimativa dos efeitos da capacidade específica de combinação e percentagem de heterose, o que indica amplas perspectivas de serem utilizados em híbridos intervarietais.

4. Os híbridos que apresentaram valores positivos de heterose (expressão genética dos efeitos da

hibridação) e efeito da capacidade específica de combinação deram em média, produções superiores às das variedades paternas.

REFERÊNCIAS

- BOX, G.F.P. Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems. *Ann. Math. Stat.*, 25:290-302, 1954.
- GALAL, A.A. Heterosis and combining ability in variety crosses of maize. Alexandria, Fac. of Agron./Univ. of Alexandria, 1970. Tese Mestrado.
- GARDNER, C.O. & EBERHART, S.A. Analysis and interpretations of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, 22:429-52, 1966.
- GNOATTO, J.L. Análise de cruzamentos dialélicos entre linhagens de milho (*Zea mays* L.) de diversas origens. Piracicaba, ESALQ, 1969. 80p. Tese Mestrado.
- GOMIDE, B.G. Cruzamentos dialélicos entre variedades de milho (*Zea mays* L.). Viçosa, UFV, 1980. 71p. Tese Mestrado.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel-crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.*, 9:463-93, 1956.
- HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, 39:789-809 1954.
- HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses - II. *Genetics*, 43:63-85, 1958.
- HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses - III. *Genetics*, 45:115-72, 1960.
- LIMA, T.S.O. Avaliação das capacidades geral e específica de combinação e correlação entre caracteres em oito populações de milho (*Zea mays* L.) Opaco-2. Viçosa, UFV, 1977. 71p. Tese Mestrado.
- MATZINGER, D.F.; SPRAGUE, G.F. & COCKERHAM, C.C. Diallel crosses of maize in experiment repeated over locations and years. *Agron. J.*, 51:346-50, 1959.
- NASPOLINI FILHO, V.; GAMA, E.E.G.; VIANNA, R.T. & MORO, J.R. General and specific combining ability for yield in a diallel cross among 18 maize populations (*Zea mays* L.). *R. bras. Genét.*, 4(4):571-7, 1981.
- PEREIRA, P. Comportamento de linhagens de milho (*Zea mays* L.) em cruzamentos dialélicos. Viçosa, UFV, 1978. 70p. Tese Mestrado.
- SPRAGUE, G.F. & TATUM, L.A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Agron. J.*, 34:923-32, 1942.
- YATES, E. The analysis of data from all possible reciprocal crosses between a set of parent lines. *Heredity*, 1:287-301, 1947.