

CONTRIBUIÇÃO DOS CARACTERES VEGETATIVOS E REPRODUTIVOS DA PLANTA DE MILHO PARA A HETEROSE NA PRODUÇÃO DE GRÃOS

CAMILA BASTOS RIBEIRO¹, MAGNO ANTÔNIO PATTO RAMALHO¹ e
PAULO EDUARDO RODRIGUES PRADO¹

¹Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil, camila.cbra2@gmail.com, magnoapr@ufla.br; prado017@yahoo.com.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.13, n.1, p. 59-68, 2014

RESUMO - Este trabalho objetivou identificar os caracteres que mais contribuem para a heterose na produção de grãos de milho. Foi realizado um diallelo completo envolvendo cinco linhagens, obtendo-se assim dez híbridos simples. Os híbridos e as linhagens foram avaliados na safra 2011/2012, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em dois locais. Os seguintes caracteres foram avaliados: altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), matéria seca do pendão (MS), massa de 100 grãos (M100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD). Foi efetuada a análise dialélica que considera a geração F₁ e os parentais, além das estimativas da heterose (%) e correlações simples e parciais entre os caracteres. O cruzamento mais promissor foi o 4x5, que associou maior PROD, M100 e NGP e ainda menor AP, AE e MS. Para a maioria dos caracteres, a capacidade geral de combinação explicou a maior parte da variação dos caracteres. As correlações parciais envolvendo o NGP e a M100 com a PROD foram de 0,99. A heterose média da PROD foi de 102,6% em relação à média dos pais e o NGP e a M100 apresentaram heterose média de 61,9% e 23,2%, respectivamente. Embora a contribuição seja semelhante para o número de grãos por planta e massa de 100 grãos na produção, o número de grãos é a característica que mais contribui para a heterose na produção de grãos em milho.

Palavras-chave: linhagem; capacidade combinatória; *Zea mays*; vigor híbrido.

CONTRIBUTION OF VEGETATIVE AND REPRODUCTIVE TRAITS OF MAIZE PLANT TO HETEROISIS IN GRAIN PRODUCTION

ABSTRACT - The aim of this study was to identify which traits of the plant most contribute to heterosis in grain yield in maize. A complete diallel cross was carried out involving five inbred lines, obtaining ten hybrids. The hybrids and the inbred lines were evaluated in the 2011/2012 crop season in a randomized block design with four replications at two locations. The following traits were evaluated: plant height (AP), ear height (AE), stem diameter (DC), dry matter of the tassel (MS), 100 kernel weight (M100), number of kernels per plant (NGP) and grain yield per plant (PROD). Diallel analysis was carried out considering the F₁ generation and the parental lines, beyond the estimates of heterosis and simple and partial correlations were obtained between all the traits. The most promising crossing was 4x5 associated with higher PROD, M100 and NGP and even less AP, AE and MS. For almost all the traits, the quadratic components of the general combining ability explained most of the variation. The partial correlations involving the NGP and the M100 with PROD were 0.99. The average heterosis for PROD was 102.6% in relation to the average of the parents, and the NGP and M100 showed average heterosis of 61.9% and 23.2%, respectively. Although the contribution for NGP and M100 on the PROD was similar, kernel number is the trait that most contribute to heterosis in grain yield in maize.

Key words: line; combining ability; *Zea mays*; hybrid vigor.

A heterose (h) na produtividade de grãos de milho é conhecida desde o início do século XX. Ela foi responsável pelo grande avanço que ocorreu no melhoramento genético e, sobretudo, na implementação da indústria sementeira dessa cultura (Troyer, 2006). Contudo, as bases genéticas da heterose ainda não são bem conhecidas. A heterose pode ser devida à dominância, sobredominância ou outras causas. Sabe-se que, para que ocorra heterose, é necessário que os genitores sejam divergentes e que ocorra dominância no controle genético da expressão do caráter (Hallauer, Carena & Miranda Filho, 2010).

A produtividade de grãos de milho provavelmente é afetada por praticamente todos os demais caracteres da planta, ou seja, a maioria dos genes da planta contribui para a expressão da produtividade. Entretanto, alguns caracteres podem ter maior influência na produtividade. Esses caracteres são denominados componentes primários da produção. Schnell & Cockerham (1992) ressaltam a contribuição do efeito multiplicativo da heterose como produto de uma ação multiplicativa de caracteres primários e ressaltam que a heterose multiplicativa para a produção de grãos pode ser bastante frequente.

Sob a ótica da Genética Quantitativa, a média do híbrido simples (*HS*) é fornecida por: $HS = \text{média das linhagens genitoras} + \text{heterose entre elas}$. A participação dos componentes primários da produção de grãos não é bem compreendida, principalmente no que diz respeito à participação do NGP e da M100 em termos da contribuição para a heterose. Em condições temperadas, onde a informação já está disponível, há evidências de que o número de grãos por planta explica a maior variação da heterose para a produtividade de grãos

(Echarte & Tollenaar, 2006; Andrea et al., 2008). Para os híbridos tropicais, essa informação não foi encontrada. Seria interessante obtê-la para direcionar os programas de melhoramento na seleção desses dois caracteres.

A associação dos caracteres secundários altura da planta, altura da espiga, diâmetro do colmo e matéria seca do pendão com a produtividade é frequente na literatura (Farias Neto & Miranda Filho, 2001; Andrade & Miranda Filho, 2008). Contudo, não foram encontrados relatos desses caracteres na heterose da produtividade de grãos. Diante do exposto, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de identificar, entre os caracteres vegetativos e reprodutivos da planta, os que mais contribuem para a heterose na produção de grãos de milho.

Material e Métodos

Os experimentos dos híbridos e das linhagens foram conduzidos em dois locais do estado de Minas Gerais, em uma propriedade particular do município de Ribeirão Vermelho, a 808 m, 45° 03' longitude Oeste e 21° 11' latitude Sul, e na fazenda experimental da Ufla (Universidade Federal de Lavras), no município de Lavras, 951 m, 44° 58' longitude Oeste e 21° 12' latitude Sul.

Foram utilizadas cinco linhagens do programa de melhoramento da Ufla, obtidas pela autofecundação de híbridos comerciais existentes no mercado. Os cruzamentos foram realizados seguindo um esquema de dialelo completo na safra de 2009/2010. Na safra de 2011/2012, procedeu-se à avaliação dos dez híbridos simples e das cinco linhagens parentais desses híbridos em dois experimentos contíguos. O delineamento

utilizado em ambos os casos foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por duas linhas de dois metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,6 metro e quatro plantas por metro linear, totalizando uma população de 66.666 plantas por hectare. As operações de manejo recomendadas para a cultura foram realizadas a fim de proporcionar as melhores condições para o desenvolvimento das plantas. A adubação no momento da semeadura foi efetuada com o equivalente a 350 kg ha⁻¹ da formulação 08-28-16 (N, P₂O₅, K₂O), 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio no estádio fenológico V3 e 130 kg ha⁻¹ de ureia no estádio fenológico V6 em ambos os locais. Os demais tratamentos culturais foram os recomendados para a cultura na região.

Foram avaliados os seguintes caracteres da planta: Matéria Seca do Pendão (MS), em gramas (g) - os pendões foram coletados com aproximadamente 50% das anteras abertas, cortados na sua base, com amostragem de uma planta da extremidade de cada linha da parcela, totalizando quatro plantas em cada parcela experimental. Em seguida, eles foram submetidos à secagem em estufa, com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 65 °C, por um período de aproximadamente 48 h, até que os mesmos atingissem peso constante. Posteriormente, foram pesados para obtenção da matéria seca; Altura de Planta (AP); Altura de Espiga (AE); Diâmetro do Colmo (DC). Os caracteres produtivos (espiga) foram: produção de grãos por planta (PROD), amostrando-se espigas de cinco plantas, massa de 100 grãos (M100) e o número de grãos por espiga (NGP), o qual foi estimado por regra de três a partir dos dados do M100 e PROD. Os dados da PROD e do M100 foram corrigidos para umidade padrão de 13%.

Para efetuar a análise estatística dos dados, foram realizadas as análises de variância por local, considerando-se todos os efeitos como fixos, exceto o erro experimental. Em seguida, foi efetuada a análise conjunta dos dois ambientes. Após a obtenção das médias nas análises de variâncias individuais e conjuntas, para cada um dos caracteres avaliados, foram estimadas as heteroses em porcentagem da média dos pais.

Utilizando as médias por local, procedeu-se à análise dialélica, pelo método IV de Griffing (1956), em que são consideradas apenas as combinações híbridas. Foram estimados também os coeficientes de correlação fenotípica dos caracteres nos híbridos e os coeficientes de correlação fenotípica parcial de todos os caracteres, pela expressão generalizada apresentada por Cruz, Regazzi e Carneiro (2004):

$r_{sq,r} = -a_{sq} / \sqrt{a_{ss} a_{qq}}$, em que: s e q são duas das sete variáveis e r as demais variáveis; a_{sq} é o elemento de ordem sq da inversa da matriz de correlação simples; a_{ss} é o elemento de ordem ss da inversa da matriz de correlação simples; a_{qq} é o elemento de ordem qq da inversa da matriz de correlação simples.

Para a realização de todas as análises, foi utilizado o software Genes (Cruz, 2006).

Resultados e Discussão

Considerando os caracteres avaliados na planta, altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS), foi observada diferença significativa (P ≤ 0,01) entre os híbridos para todos os referidos caracteres (Tabela 1). Entre os genitores, a única exceção foi para DC. Para os caracteres avaliados na espiga, massa de 100 grãos (M100), número de grãos (NGP) e produção de grãos por planta (PROD),

observou-se diferença significativa ($P \leq 0,01$) para todos os híbridos, sendo que o comportamento inverso foi verificado para os genitores em relação a esse caracteres mencionados.

Os genitores foram previamente selecionados em função do comportamento “per se” e da capacidade de combinação. Como mencionado acima, para a maioria dos caracteres, não se constatou diferença significativa entre os genitores. Embora o desempenho médio entre eles não diferisse, foi observada diferença expressiva entre as progênies híbridas obtidas com a utilização destes genitores para todos os caracteres avaliados.

Na análise dialélica, a capacidade geral de combinação explicou a maior parte da variação entre os híbridos para todos os caracteres, exceto a AP, AE e PROD (Tabela 1). No caso dos caracteres da espiga, a CGC explicou mais de 80% da variação total. A superioridade da fonte de variação CGC em relação à CEC na análise dialélica, utilizando o método de Griffing (1956), já foi relatada na literatura envolvendo a produção de grãos e outros caracteres em milho (Aguiar et al., 2003; Vivek et al., 2010).

Considerando apenas um loco e teste da linhagem em cruzamento top-cross (com apenas um testador), a CGC é fornecida pela expressão:

$$CGC = (p_i - \bar{p})[a_B + (1 - 2t)d_B]$$

em que p_i é a frequência do alelo favorável na linhagem i , \bar{p} é a frequência alélica média do alelo favorável no grupo de linhagens, a_B é o desvio dos homozigotos em relação à média, d_B é o desvio do heterozigoto em relação à média e t é a frequência do alelo favorável no testador (Vencovsky, 1987). Assim, a predominância da CGC não necessariamente implica ausência de dominância. Isso só ocorreria se a

frequência alélica média para cada um dos diferentes locos envolvidos na expressão do caráter fosse 0,5. A dominância (d) também afeta a CGC e não apenas o desvio dos homozigotos em relação à média. Ferreira et al. (2004) também mostram esse fato por meio de simulação. Já a CEC, considerando um loco, é fornecida por:

$$CEC = 2[(\bar{p} - P_i)(r_i - \bar{r})d_B]$$

em que, p_i e p foram descritos anteriormente, r_i é a frequência do alelo favorável na outra linhagem sendo cruzada, \bar{r} é a frequência alélica média do alelo favorável no grupo de linhagens sendo testada, d é a contribuição dos locos em heterozigose, ou seja, efeito de dominância. Pelo menos em princípio, pode-se inferir que, para altura de planta, de espiga e produção de grãos em que o efeito da CEC foi superior à CGC, a contribuição dos locos em heterozigose é maior do que a contribuição dos locos em homozigose.

Considerando a PROD, a variação entre as linhagens, como era esperado, foi pequena (Tabela 2). Já no caso dos híbridos, variou de 104 g planta⁻¹, na combinação 1x3, a 176 g planta⁻¹, na 4x5. Os híbridos 2x4 e 4x5 foram os que apresentaram a maior PROD. Esses dois híbridos produziram 19,21% acima da média e estiveram no grupo dos híbridos com maior NGP e M100. O híbrido 4x5 associou ainda menores AP e AE e menor MS. A única restrição para esse híbrido é o menor DC (Tabela 3).

Considerando a média de todos os híbridos, a heterose (h) foi maior para a PROD ($\bar{h} = 102,6\%$) e a menor para o DC ($\bar{h} = 8,9\%$) (Tabelas 2 e 3). A maior estimativa de h para a PROD foi observada na combinação 4x5. Como era esperado, esse par apresentou alta heterose tanto para o M100, como para o NGP. Contudo, para os demais caracteres da

TABELA 1. Resumo da análise de variância conjunta dos genitores (G) e dos híbridos (H) para os caracteres altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), matéria seca do pendão (MS), massa de 100 grãos (M100), número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PROD). Experimentos conduzidos em Lavras e em Ribeirão Vermelho, MG, safra 2011/2012.

FV	GL	QM													
		AP (m)		AE (m)		DC (mm)		MS (g)		M100 (g)		NGP		PROD (g)	
		G	H	G	H	G	H	G	H	G	H	G	H	G	H
Blocos/Amb	6	0,01	0,04	0,01	0,01	5,81	4,15	1,5	0,99	31,87	8,66	2792,13	1123,16	374,79	234,78
Tratamentos	9	0,28**	0,09**	0,12**	0,03**	4,51	7,69**	50,39**	23,66**	15,17	140,24**	1033,27	12437,78**	51,59	5401,77**
	(4) ¹														
Ambientes	1	0,78**	1,36**	0,31**	0,34**	16,1	0,06	4,08	3,42	142,03	54,26*	708,53	0,0002	1669,99	1110,05
TxA	9 (4)	0,02	0,13**	0,07	0,07**	1,12	6,36*	3,02*	4,42**	26,23	14,29*	3409,92	2820,37	497,43	689,69*
CGC	4	-	0,07**	-	0,02	-	10,17**	-	46,69**	-	277,75**	-	22292,61**	-	10869,76**
CEC	5	-	0,10**	-	0,05**	-	5,71*	-	5,24**	-	30,23**	-	4553,91**	-	1027,38**
CGCxA	4	-	0,23**	-	0,06**	-	9,22**	-	4,39**	-	16,31*	-	4242,4*	-	619,75
CECxA	5	-	0,06**	-	0,07**	-	4,08	-	4,45**	-	12,66	-	1682,74	-	745,63*
Erro Médio	54 (24)	0,01	0,02	0,01	0,01	2,97	1,9	0,98	0,99	23,58	5,91	2808,69	1426,3	206,39	269,16
Comp. Quadr	CGC	0,001	-0,0001	-0,0001	0,003	0,27	0,24	0,27	1,63	7,37	810	-0,04			
Comp. Quadr	CEC	0,01	0,003	0,003	0,003	0,24	0,24	0,24	0,78	1,28	212,66	0,04			
Média		1,53	2,25	0,78	1,3	23,91	26,02	23,31	26,57	26,58	32,69	273,4	442,86	71,89	145,48
C. V. (%)		5,73	6,43	8,79	7,86	7,21	5,3	4,28	3,76	18,27	7,43	19,38	8,53	19,98	14,55

¹Entre parênteses, são apresentados os graus de liberdade para os ensaios com linhagens. *, ** significativos a 5% e a 1%, respectivamente.

TABELA 2. Médias da massa de 100 grãos (M100), número de grãos por planta (NGP), produção de grãos por planta (PROD), das linhagens e dos híbridos e estimativas da heterose em porcentagem, h (%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e em Lavras, MG, safra 2011/2012.¹

Linhagens	M100		NGP		PROD	
	média (g)	h (%)	média (grãos)	h (%)	média (g)	h (%)
1	26,7	-	257	-	70,4	-
2	25,5	-	291	-	74,4	-
3	28,8	-	264	-	73,7	-
4	25,4	-	264	-	68,3	-
5	26,6	-	280	-	72,8	-
Média geral das linhagens	26,6	-	273,41	-	71,9	-
Híbridos						
1x2	30,4 B	16,5	446 A	59,3	135,3 B	87,0
1x3	29,3 B	5,5	356 C	33,2	104,0 C	44,3
1x4	34,9 A	33,8	454 A	70,1	158,4 A	128,5
1x5	24,4 C	-8,6	416 B	51,6	101,7 C	42,0
2x3	31,9 B	17,6	476 A	71,4	152,2 A	105,5
2x4	36,5 A	43,3	469 A	69,1	170,9 A	139,8
2x5	31,8 B	22,1	494 A	73,4	156,4 A	112,6
3x4	37,7 A	38,9	436 A	65,2	163,8 A	130,8
3x5	32,5 B	17,4	419 B	54,3	136,2 B	86,0
4x5	37,9 A	45,5	466 A	71,4	176,0 A	149,5
Média geral dos híbridos	32,7	23,2	443	61,9	145,5	102,6

¹Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (1974).

planta, AP, AE, DC e MS, a heterose para esse par foi uma das de menor magnitude. Os dois híbridos com menor heterose para a PROD foram os de número 1x3 e 1x5. O comportamento relativo desses dois híbridos para os caracteres AP, AE, DC e MS foi o contrário, a heterose foi positiva.

Estimativas da heterose em milho foram obtidas em inúmeras oportunidades, especialmente em milho de clima temperado. Hallauer, Carena e Miranda Filho (2010) apresentam uma compilação de dados da heterose para a produção de grãos de milho envolvendo

populações em equilíbrio. A média dessas heteroses foi de aproximadamente 20,63%, bem inferior à observada no presente caso. Flint-Garcia et al. (2009), utilizando linhagens de grupos heteróticos contrastantes, obtiveram 333 híbridos simples e a heterose em relação ao melhor pai (heterobeltiose) foi de 185%. Este valor de heterose é superior ao observado neste trabalho. Já Solomon, Zeppa e Mulugeta (2012) observaram heterose média para o peso de espigas despalhadas de apenas 61,4%, obtida com dados de avaliação de 45 híbridos simples. Em milho doce tropical, Assunção

et al. (2010) observaram uma heterose para produção de grãos de 136%, avaliada em 28 híbridos simples. Dessa maneira, é possível selecionar os cruzamentos mais promissores com base na capacidade específica de combinação (CEC) para a produção de grãos, uma vez que a heterose se mostrou expressiva para esse caractere.

Até certo ponto, valores expressivos de heterose são esperados, pois a produção depende da manifestação de outros caracteres e o efeito da heterose seria acumulativo. Schnell e Cockerham (1992) comentam sobre o efeito multiplicativo dos caracteres na expressão da heterose. Esse fato provavelmente ocorre com os componentes primários da produção. Assim, o produto da heterose do número de grãos por planta e do peso dos grãos manifestam-se multiplicativamente na heterose da produção. Do exposto, entre os componentes primários da produção de grãos, em termos relativos, o número de grãos foi o que contribuiu com a maior parte da heterose da produção de grãos por planta, uma vez que apresentou uma estimativa de heterose superior àquela verificada em M100 (Tabela 2). Em milhos tropicais, não existem muitas informações a esse respeito. Nos milhos temperados, a maioria dos trabalhos também evidencia que a maior parte da heterose da produção de grãos é explicada pela heterose no número de grãos (Echarte; Tollenaar, 2006; Severini et al., 2011).

As estimativas entre os pares de caracteres da planta foram maiores entre AP e AE, apresentando uma magnitude de 0,95 (Tabela 4), o que é frequentemente relatado na literatura. Farias Neto e Miranda Filho (2001) e Andrade e Miranda Filho (2008) observaram estimativas altas para esses caracteres, com magnitude de 0,8 e 0,84, respectivamente.

As associações lineares entre a produção de grãos e os caracteres AP, AE, DC e MS foram menores

do que as que envolviam caracteres de produção, como esperado. A seleção no sentido de reduzir o tamanho do pendão nos híbridos de milho tem sido realizada com o objetivo de aumentar a eficiência na produção de grãos por planta, disponibilizando, assim, maior quantidade de nutrientes para a formação dos grãos (Cooper, 2004; Duvick, 2004; Smith, 2004; Duvick, 2005; Munaro et al., 2011). Entretanto, no presente trabalho, não foram encontradas correlações significativas favoráveis.

Um dos resultados mais expressivos entre a correlação fenotípica e parcial foi entre o NGP e a PROD, que na correlação fenotípica era 0,74 e na parcial passou para 0,99 (Tabela 4). Como esperado, esses dois caracteres foram os que apresentaram maior associação com a produção, por se tratarem de componentes primários da produção. A própria estimação do caractere NGP foi dependente dos caracteres M100 e Prog, uma vez que a regra de três foi usada para o cálculo desse caractere. Assim, era esperada a alta correlação entre NGP e PROD. Os demais caracteres não tiveram associação linear com a PROD. Resultados semelhantes são frequentes na literatura. Com milho tropical, Toledo (2010) observou maior associação entre o número de grãos e a produção de grãos ($r_F = 0,9$) do que para o peso de 100 grãos e a produção ($r_F = 0,73$). Severini et al. (2011) observaram a mesma tendência em milhos pipoca.

Do exposto, a contribuição do M100 e do NGP para a PROD foi semelhante. Contudo, em termos da heterose, a participação do NGP foi maior. Como a produção de grãos de um híbrido depende do desempenho das linhagens per se e da heterose (Vencovsky, 1987), pode-se inferir que, na expressão dos caracteres M100 e NGP, são encontrados componentes aditivos e não aditivos.

TABELA 3. Médias da altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca do pendão (MS) das linhagens e dos híbridos e estimativas da heterose em porcentagem, h (%), dos experimentos conduzidos em Ribeirão Vermelho e em Lavras, MG, safra 2011/2012.¹

Linhagens	AP		AE		DC		MS	
	Média (m)	h (%)	Média (m)	h (%)	Média (mm)	h (%)	Média (g)	h (%)
1	1,4 C	-	0,7 B	-	23,3	-	21,5 B	-
2	1,4 C	-	0,7 B	-	23,7	-	22,7 B	-
3	1,5 C	-	0,7 B	-	24,1	-	22,9 B	-
4	1,8 A	-	1,0 A	-	25,2	-	21,9 B	-
5	1,6 B	-	0,8 B	-	23,4	-	27,7 A	-
Média geral das linhagens	1,5	-	0,8	-	23,9	-	23,3	-
Híbridos								
1x2	2,3 A	62,7	1,3 A	80,2	26,9 A	14,5	26,7 B	21,1
1x3	2,1 B	46,0	1,2 A	60,5	25,6 B	8,0	23,5 D	5,9
1x4	2,3 A	41,2	1,4 A	55,5	25,4 B	4,7	26,1 C	20,4
1x5	2,2 B	50,1	1,3 A	69,4	25,1 B	7,7	27,6 B	12,2
2x3	2,4 A	66,8	1,4 A	96,3	26,9 A	12,7	25,4 C	11,6
2x4	2,3 A	41,0	1,3 A	56,1	26,7 A	9,6	27,6 B	23,8
2x5	2,2 B	47,6	1,3 A	72,8	25,6 B	9,0	29,6 A	17,7
3x4	2,4 A	44,6	1,4 A	59,0	26,6 A	8,1	24,9 C	11
3x5	2,3 A	52,8	1,3 A	77,0	27,2 A	14,8	27,5 B	8,8
4x5	2,0 B	23,3	1,2 A	38,1	24,2 B	-0,3	26,9 B	8,5
Média geral dos híbridos	2,3	47,6	1,3	66,5	26,1	8,9	26,6	14,1

¹Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (1974).

TABELA 4. Coeficientes de correlação simples, acima da diagonal, e coeficientes de correlação parcial, abaixo da diagonal, entre os sete caracteres para dez híbridos de milho, média de dois locais, safra 2011/2012.

	PROD	M100	NGP	AP	AE	DC	MS
PROD	1	0,91**	0,74**	0,29 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,25 ^{ns}
M100	0,99**	1	0,44 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
NGP	0,99**	-0,99**	1	0,33 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,63 ^{ns}
AP	-0,1 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1	0,95**	0,75**	-0,04 ^{ns}
AE	0,08 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,96**	1	0,56*	-0,01 ^{ns}
DC	-0,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,84**	-0,74**	1	-0,07 ^{ns}
MS	-0,17 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1

^{ns}, * e ** não significativo, significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Conclusões

Embora a contribuição seja semelhante para o número de grãos por planta e peso médio de grãos na produção, o número de grãos é a característica que mais contribui para a heterose na produção de grãos em milho.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da Ufla (Universidade Federal de Lavras) e à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos.

References

AGUIAR, A. M.; CARLINI-GARCIA, L. A.; SILVA, A. R.; SANTOS, M. F.; GARCIA, A. A. F.; SOUZA JR., C. L. de. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 83-89, 2003.

ANDRADE, J. C.; MIRANDA-FILHO, J. B.

Quantitative variation in the tropical maize population, Esalq-PB1. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 174-182, 2008.

ANDREA, K. E.; OTEGUI, M. E.; CIRILO, A. G. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 105, p. 228-239, 2008.

ASSUNÇÃO, A.; BRASIL, E. M.; OLIVEIRA, J. P.; REIS, A. J. S.; PEREIRA, A. F.; BUENO, L. G.; RAMOS M. R. Heterosis performance in industrial and yield components of sweet corn. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 10, p. 183-190, 2010.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Biometria. Viçosa, MG: UFV, 2006. 382 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. 480 p.

DUVICK, D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 86, p. 83-145, 2005.

DUVICK, D. N.; SMITH, J. S. C.; COOPER, M. Long-term selection in a commercial hybrid

- maize breeding program. **Plant Breeding Reviews**, Westport, v. 24, p. 109-151, 2004.
- ECHARTE, L.; TOLLENAAR, M. Kernel set in maize hybrids and their inbred lines exposed to stress. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 870-878, 2006.
- FARIAS NETO, A. L.; MIRANDA FILHO, J. B. Genetic correlation between traits in the ESALQ-PB1 maize population divergently selected for tassel size and ear height. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 119-123, 2001.
- FERREIRA, F. M.; RIBEIRO JUNIOR, J. I.; PACHECO, C. A. P.; SILVA, C. H. O.; MARTINS FILHO, S. Genetic components of combining ability in a complete diallel. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, p. 338-343, 2004.
- FLINT-GARCIA, S. A.; BUCKLER, E. S.; TIFFIN, P.; ERSOZ, E.; SPRINGER, N. M. Heterosis is prevalent for multiple traits in diverse maize germplasm. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 4, p. e7433, 2009.
- 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.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2010. v. 1, 500 p.
- MUNARO, E. M.; EYHERABIDE, G. H.; ANDREA, K. E.; CIRILO, A. G.; OTEGUI, M. E. Heterosis x environment interaction in maize: what drives heterosis for grain yield? **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, p. 441-449, 2011.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2012. 305 p.
- SCHNELL, F. W.; COCKERHAM, C. C. Multiplicative vs. arbitrary gene action in heterosis. **Genetics**, Austin, v. 131, p. 461-469, 1992.
- SEVERINI, A. D.; BORRAS, L.; WESTGATE, M. E.; CIRILO, A. G. Kernel number and kernel weight determination in dent and popcorn maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, p. 360-369, 2011.
- SOLOMON, K. B.; ZEPPA, A.; MULUGETA, S. D. Combining ability, genetic diversity and heterosis in relation to F1 performance of tropically adapted shrunken (sh2) sweet corn lines. **Plant Breeding**, Berlin, v. 131, p. 430-436, 2012.
- TOLEDO, F. H. R. B. **Controle genético e inter-relação de um caráter de limiar e outros componentes da espiga do milho**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- TROYER, A. F. Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 528-543, 2006.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 137-209.
- VIVEK, B. S.; ODONGO, O.; NJUGUNA, J.; IMNYWOHA, J.; BIGIRWA, G.; DIALLO, A.; PIXLEY, K. Diallel analysis of grain yield and resistance to seven diseases of 12 African maize (*Zea mays* L.) inbred lines. **Euphytica**, Wageningen, v. 172, p. 329-340, 2010.