

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS DE HETEROSE EM HÍBRIDOS DE POPULAÇÕES F₂ DE MILHO¹

Cristiani Santos Bernini², Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani²

ABSTRACT

PARAMETERS ESTIMATES OF HETEROISIS IN HYBRID MAIZE F₂ POPULATIONS

Hybrids developed with the efficient use of heterosis contribute significantly for increasing maize yield. This study aimed to evaluate F₂ hybrid populations, concerning agronomic traits, and estimate genetic parameters of F₂ populations, as well as heterosis, by using the Gardner & Eberhart method. Higher estimates of F₂ populations effect, for grain mass, were noticed in the Pop.9, Pop.11, Pop.14, and Pop.15, being considered suitable for intrapopulational recurrent selection programs and for obtaining superior lines. The Pop.10 and Pop.16 distinguished themselves by presenting the higher effects of parental heterosis, for grain mass. The Pop.12 x Pop.10 and Pop.13 x Pop.10 hybrids showed high yield and specific heterosis effects, revealing the existence of dominant locus in the genetic control of grain mass.

KEY-WORDS: *Zea mays* L.; intervarietal hybrid; complete diallel.

RESUMO

Os híbridos desenvolvidos com o uso eficiente da heterose contribuem significativamente para o aumento de produtividade, na cultura do milho. O presente trabalho teve por objetivos avaliar híbridos de populações F₂, quanto aos caracteres agrônômicos, e estimar parâmetros genéticos das populações F₂, bem como a heterose, utilizando-se o método de Gardner & Eberhart. Verificaram-se maiores estimativas de efeito de populações F₂, para massa de grãos, na Pop.9, Pop.11, Pop.14 e Pop.15, sendo estas indicadas para programas de seleção recorrente intrapopulacional e obtenção de linhagens superiores. A Pop.10 e Pop.16 destacaram-se pelos maiores efeitos de heterose de parentais, para massa de grãos. Os híbridos Pop.12 x Pop.10 e Pop.13 x Pop.10 apresentaram alta produtividade e efeitos elevados de heterose específica, indicando a existência de locos em dominância, no controle genético de massa de grãos.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L.; híbrido intervarietal; dialelo completo.

INTRODUÇÃO

No panorama agrícola nacional, o milho destaca-se por ser a segunda cultura em produção de grãos, sendo o Brasil o terceiro produtor mundial (FAO 2008). A safra brasileira 2009/2010 alcançou 56 milhões de toneladas e produtividade média de 4.340 kg ha⁻¹. No Estado de São Paulo, o rendimento médio da cultura foi de 5.162 kg ha⁻¹ (Conab 2010), mas, em 49% da área cultivada, as produtividades médias obtidas pelos agricultores variaram de 1.290 kg ha⁻¹ a 4.910 kg ha⁻¹. Estes níveis de produtividade indicam que muitos agricultores possuem sérios problemas de gestão tecnológica, no cultivo deste cereal, que podem incluir, dentre outros fatores, o uso limitado de sementes melhoradas.

No atual mercado de sementes de milho, há maior oferta de híbridos simples e triplos, representando 71% das opções de cultivares para os agricultores (Cruz & Pereira Filho 2010), responsáveis por 24-32% do custo total de produção. O alto custo das sementes é um dos fatores determinantes na escolha do tipo de cultivar adotada na agricultura de baixo investimento e subsistência, que utiliza sementes próprias de gerações avançadas de híbridos, reduzindo a produtividade em 15-40% e explicando, em parte, o baixo nível de produtividade média da cultura (Cruz & Pereira Filho 2009).

Para os agricultores de média e baixa tecnologia, o híbrido de populações F₂ pode representar uma alternativa de semente híbrida com bom potencial genético, preços mais acessíveis e maior

1. Trabalho recebido em jun./2011 e aceito para publicação em fev./2012 (nº registro: PAT 14577).

2. Instituto Agrônômico, Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, Campinas, SP, Brasil.
E-mails: cristianibernini@yahoo.com.br, elisa@iac.sp.gov.br.

produtividade. O ponto relevante do processo de obtenção de híbrido de populações F₂ é a simplificação da produção de sementes, pois são eliminadas as etapas de obtenção e multiplicação das linhagens, necessitando-se, apenas, da manutenção e produção dos campos de genitores.

Puch & Layrisse (2005) relataram que a utilização de gerações F₂ de híbrido simples como parentais de híbridos duplos apresenta economia e facilidade, uma vez que os híbridos simples não teriam que ser obtidos todos os anos. Balestre et al. (2009) enfatizam que somente as populações F₂, ou seja, as populações em equilíbrio de frequências genóticas, são recombinadas, garantindo a manutenção da heterose.

Em programas de melhoramento de milho visando à obtenção de híbridos, os métodos de análise dialélica são bastante utilizados e permitem estimar parâmetros genéticos úteis, na seleção de genitores para hibridação e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos no controle dos caracteres. Para variedades de polinização livre e híbridos intervartiais em equilíbrio de Hardy-Weinberg, Gardner & Eberhart (1966) propuseram um método de análise dialélica, que fornece informações detalhadas a respeito do potencial *per se* dos genitores e da heterose manifestada em seus híbridos.

Ante ao exposto, o presente trabalho objetivou avaliar híbridos de populações F₂ de milho, quanto aos caracteres agronômicos, e estimar parâmetros genéticos das populações F₂, bem como a heterose dos híbridos e seus componentes.

MATERIAL E MÉTODOS

As gerações F₂ foram obtidas da autofecundação de seis híbridos simples e dois híbridos triplos, escolhidos por apresentarem diferenças quanto à origem, características de ciclo e textura de grãos. As gerações F₂ obtidas de cada um destes híbridos foram intercruzadas, para a obtenção de oito populações F₂ parentais.

As oito populações F₂ parentais, denominadas de Pop.9 a Pop.16, foram cruzadas em esquema dialélico completo, do qual resultaram 28 híbridos, no Centro Experimental do Instituto Agronômico (IAC), em 2008/2009. As linhas do campo de cruzamento do dialelo possuíam 10,0 m de comprimento, com 50 plantas por linha, de cada grupo de linhas femininas. Nos cruzamentos, coletou-se o pólen de

dezenas de plantas utilizadas como parental masculino e efetuou-se a mistura de pólen, visando à representatividade de cada população F₂.

Os 28 híbridos, mais as oito populações F₂ (parentais) e as testemunhas comerciais IAC 8333 (híbrido simples de sintético) e DKB 390 (híbrido simples), foram avaliados em 2009/2010, sob delineamento experimental de blocos ao acaso, totalizando 38 tratamentos e três repetições, sendo cada parcela constituída por duas linhas de 5,0 m, espaçadas em 0,85 m, com área total de 8,5 m², totalizando 50 plantas.

Os experimentos foram conduzidos no Centro Experimental do Instituto Agronômico (IAC), em Campinas (SP) (22°54'S, 47°03'W e altitude de 600 m), no Pólo Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista (APTA), em Mococa (SP) (21°28'S, 47°01'W e altitude de 665 m) e no Pólo Regional do Médio Paranapanema (APTA), em Palmatal (SP) (22°48'S, 50°14'W e altitude de 501 m).

Avaliaram-se os seguintes caracteres agronômicos: dias para o florescimento masculino (FM) - obtido mediante o período compreendido entre a semeadura e o florescimento, que é evidenciado quando 50% de plantas da parcela estiverem liberando pólen; altura de plantas (AP) - medida após o completo florescimento de cinco plantas competitivas, amostradas de cada parcela, tomada do nível do solo até a inserção da última folha (em cm); altura de espigas (AE) - medida após o completo florescimento de cinco plantas competitivas, amostradas de cada parcela, tomada do nível do solo até a inserção da espiga principal (em cm); e massa de grãos (MG) - obtida considerando-se a massa (em kg) dos grãos resultantes da debulha, em debulhadora de parcela, do total de espigas da parcela, com o auxílio de balança eletrônica. A massa de grãos em kg ha⁻¹ foi corrigida para 14% de umidade e estande ideal de 50 plantas, empregando-se o método da covariância (Vencovsky & BARRIGA 1992).

Foram efetuadas análises de variância individuais e conjuntas, considerando-se o modelo fixo, sendo as médias comparadas pelo teste Scott-Knott (1974), a 5%. A análise do dialelo foi feita de acordo com o modelo IV de Gardner & Eberhart (1966):

$$Y_{ij} = \mu + (v_i + v_j)/2 + \theta (\bar{h} + h_i + h_j + s_{ij}) + \bar{e}_{ij},$$

em que: Y_{ij} = valor médio observado em um parental ($i = j$) ou em uma combinação híbrida ($i \neq j$); μ = média das variedades; v_i = efeito da variedade i ;

v_i = efeito da variedade i ; \bar{h} = efeito da heterose média; h_i = efeito da heterose da variedade i ; h_j = efeito da heterose da variedade j ; s_{ij} = efeito da heterose específica; \bar{e}_{ij} = erro experimental médio; e $\theta = 0$, quando $i = j$, e $\theta = 1$, quando $i \neq j$.

O efeito de variedades v_i foi denominado p_i , uma vez que o material em estudo trata de populações F_2 de milho, e não variedades. As análises foram efetuadas empregando-se o programa Genes (Cruz 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta dos experimentos dos 28 híbridos, oito populações F_2 (parentais) e duas testemunhas comerciais detectou diferença significativa entre tratamentos e entre locais ($p < 0,01$), para os caracteres estudados, indicando a existência de variabilidade genética entre os tratamentos e diferenças entre os locais. O efeito da interação tratamentos x locais foi não significativo para todos os caracteres e, portanto, as discussões destes resultados serão baseadas na média dos experimentos nos três locais.

As médias de FM, AP, AE e MG, dos genótipos avaliados em três locais, encontram-se na Tabela 1, juntamente com seus agrupamentos, pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para FM, foi observada a formação de dois grupos (a e b), com médias variando de 56,4 dias após a semeadura (d.a.s.), no híbrido Pop.12 x Pop.9, a 60,0 d.a.s., no Pop.13. Quatorze híbridos destacaram-se como mais precoces, nos três locais (grupo b), não diferindo estatisticamente das testemunhas comerciais DKB 390 e IAC 8333.

Para AP e AE, as médias variaram de 203,0 cm, para planta, e 110,0 cm, para espiga, no híbrido Pop.16 x Pop.13, a 225,0 cm, para planta, e 113,0 cm, para espiga, no híbrido Pop.15 x Pop.10. Os híbridos com menor AP foram Pop.14 x Pop.10 e Pop.16 x Pop.13 (211,0 cm e 203,0 cm, respectivamente).

A MG foi agrupada em quatro grupos distintos (a, b, c, d), pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). O híbrido Pop.13 x Pop.10 apresentou maior MG (8.777 kg ha⁻¹) e não diferiu estatisticamente de nove híbridos e da testemunha DKB 390. Os híbridos mais promissores apresentaram percentagens de MG, em relação à média das testemunhas, variando de 100% a 109% (Tabela 1). Como as testemunhas são híbridos com

Tabela 1. Médias dos caracteres florescimento masculino (FM), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e massa de grãos (MG) de 28 híbridos de populações F_2 , oito populações F_2 parentais e duas testemunhas comerciais, em Campinas (SP), Mococa (SP) e Palmital (SP), no ano agrícola 2009/2010.

Híbridos	FM	AP	AE	MG ⁽¹⁾	MG ⁽²⁾
	d.a.s. ⁽³⁾	— cm —	— cm —	kg ha ⁻¹	%
Pop.10 x Pop.9	58,7 a	210 b	104 b	7.898 b	98
Pop.11 x Pop.9	58,2 a	208 b	105 b	7.842 b	97
Pop.12 x Pop.9	56,4 b	204 b	109 a	7.496 b	92
Pop.13 x Pop.9	58,3 a	212 a	112 a	7.820 b	97
Pop.14 x Pop.9	57,5 b	204 b	106 b	7.240 b	90
Pop.15 x Pop.9	58,4 a	206 b	106 b	7.858 b	97
Pop.16 x Pop.9	58,2 a	206 b	108 a	7.585 b	94
Pop.11 x Pop.10	58,3 a	209 b	104 b	7.939 b	98
Pop.12 x Pop.10	57,1 b	224 a	111 a	8.611 a	107
Pop.13 x Pop.10	58,5 a	217 a	110 a	8.777 a	109
Pop.14 x Pop.10	57,1 b	211 b	102 b	8.351 a	103
Pop.15 x Pop.10	57,7 b	225 a	113 a	8.294 a	103
Pop.16 x Pop.10	58,0 b	209 b	108 a	7.420 b	92
Pop.12 x Pop.11	57,7 b	218 a	110 a	7.613 b	94
Pop.13 x Pop.11	59,0 a	216 a	114 a	8.146 a	101
Pop.14 x Pop.11	57,5 b	207 b	103 b	8.011 b	99
Pop.15 x Pop.11	57,7 b	223 a	111 a	8.478 a	105
Pop.16 x Pop.11	56,8 b	214 a	116 a	8.018 b	99
Pop.13 x Pop.12	58,2 a	205 b	110 a	6.723 c	83
Pop.14 x Pop.12	57,5 b	206 b	102 b	7.869 b	97
Pop.15 x Pop.12	57,4 b	216 a	116 a	8.146 a	101
Pop.16 x Pop.12	56,7 b	216 a	117 a	7.792 b	97
Pop.14 x Pop.13	58,4 a	212 a	116 a	8.277 a	103
Pop.15 x Pop.13	58,3 a	210 b	111 a	6.754 c	84
Pop.16 x Pop.13	58,1 a	203 b	110 a	8.091 a	100
Pop.15 x Pop.14	58,4 a	208 b	109 a	7.974 b	99
Pop.16 x Pop.14	57,8 b	204 b	109 a	7.437 b	92
Pop.16 x Pop.15	59,0 a	216 a	119 a	8.200 a	102
Média dos híbridos	57,8	211	110	7.881	98
Pop.9	59,0 a	203 b	101 b	6.041 c	75
Pop.10	59,1 a	201 b	101 b	5.487 d	68
Pop.11	58,6 a	206 b	104 b	6.561 c	81
Pop.12	58,6 a	204 b	110 a	5.432 d	67
Pop.13	60,0 a	202 b	108 a	5.535 d	68
Pop.14	59,1 a	199 b	99 b	6.225 c	77
Pop.15	57,6 b	202 b	106 b	6.825 c	85
Pop.16	58,1 a	186 b	101 b	5.290 d	65
Média dos parentais	58,7	200	104	5.924	73
DKB 390	57,8 b	210 b	116 a	9.031 a	112
IAC 8333	57,3 b	215 a	110 a	7.080 b	88
Média das testemunhas	57,5	212,5	113	8.055,5	100
Média geral	58,0	209,0	109	7.479	93
CV (%)	3,04	5,66	9,87	9,67	-

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

¹ Dados corrigidos para 14% de umidade e estande ideal; ² Percentagem de massa de grãos, em relação à média das testemunhas; ³ Dias após a semeadura.

grande aceitação comercial, evidencia-se o potencial destes novos híbridos avaliados.

Resultados obtidos por Valdivia & Sierra (2000) demonstraram o potencial produtivo de híbridos intervarietais, com valor de MG de 7.300 kg ha⁻¹, para o híbrido B840 x C343. Balestre et al. (2009) avaliaram a adaptabilidade da produtividade de grãos de híbridos intervarietais de milho, em relação a cultivares de milho, e obtiveram o híbrido intervarietal BIO 4, que apresentou produtividade de grãos de 9.070 kg ha⁻¹, cujo desempenho foi melhor que todos os híbridos triplos e duplos e superior a 43% dos híbridos simples utilizados como testemunha.

A análise de variância do dialelo completo (Tabela 2) apresentou significância ($p < 0,01$) dos efeitos de tratamentos, parentais e heterose média (\bar{h}) para FM, AP, AE e MG. A significância do efeito de parentais e de heterose evidencia que os mesmos não constituem um grupo homogêneo e que há manifestação da heterose em seus cruzamentos. Segundo Hallauer & Miranda Filho (1988), o efeito de parentais está relacionado aos componentes aditivos das médias, e o da heterose relaciona-se aos componentes de dominância. O efeito de heterose (\bar{h}) foi altamente significativo para FM, AP e MG. Pelo desdobramento do efeito de heterose, verificou-se a significância de heterose de parentais (\hat{h}_i) e específica (\hat{s}_{ij}) para AP e MG, mas não para FM e AE, corroborando os

resultados de Garbuglio & Araújo (2006), que não encontraram significância da heterose para FM e AE, ao avaliarem híbridos intervarietais. Gorgulho & Miranda Filho (2001) também não encontraram significância de heterose, para altura de espiga, e Silva & Miranda Filho (2003), avaliando heterose em populações de milho, verificaram significância de heterose de parentais e específica, para massa de espiga.

O quadrado médio da heterose de parentais, quando significativo, indica que a variância das frequências gênicas entre os parentais é suficientemente grande em, pelo menos, parte dos locos com dominância, e que os parentais, nestas condições, são divergentes para estes locos (Cruz & Vencovsky 1989).

O efeito de heterose específica (\hat{s}_{ij}) significativa evidencia que há complementações específicas entre pares de genitores, em locos com efeito de dominância, contribuindo para o melhor desempenho de certas combinações híbridas (Vencovsky & Barriga 1992).

A interação tratamentos x locais e as interações dos componentes de heterose com os locais não apresentaram significância para os caracteres estudados, indicando comportamento não diferencial dos híbridos e dos parentais, diante das variações dos ambientes. A ausência de interação genótipos x ambientes é vantajosa para programas de melhora-

Tabela 2. Análise dialélica conjunta para altura de planta (AP), altura de espiga (AE), florescimento masculino (FM) e massa de grãos (MG) de 28 híbridos de populações F₂ de milho e oito populações F₂ parentais, de acordo com o modelo IV de Gardner & Eberhart (1966), em Campinas (SP), Mococa (SP) e Palmital (SP), no ano agrícola 2009/2010.

FV	GL	Quadrados Médios				
		FM	AP	AE	MG	
Tratamentos (T)	35	5,07**	541,28**	233,38**	8.342.875**	
Parentais (P)	7	7,76**	721,21**	460,01**	2.891.575**	
Heterose	28	4,39**	496,29**	176,72 ^{ns}	9.705.701**	
Heterose média	1	41,30**	6.918,12**	1.892,86**	214.267.962**	
Heterose de parentais	7	4,01 ^{ns}	337,47*	99,19 ^{ns}	2.042.725**	
Heterose específica	20	2,68 ^{ns}	230,79*	118,05 ^{ns}	2.159.629**	
Locais (L)	2	1.478,12**	33.292,83**	9.988,01**	29.740.728**	
T x L	70	2,82 ^{ns}	171,61 ^{ns}	99,66 ^{ns}	655.055 ^{ns}	
P x L	14	4,71*	142,76 ^{ns}	58,01 ^{ns}	826.951 ^{ns}	
Heterose x L	56	2,35 ^{ns}	178,83 ^{ns}	110,08 ^{ns}	612.082 ^{ns}	
Heterose média x L	2	5,57 ^{ns}	15,68 ^{ns}	10,99 ^{ns}	300.901 ^{ns}	
Heterose de parentais x L	14	2,19 ^{ns}	171,20 ^{ns}	109,72 ^{ns}	442.074 ^{ns}	
Heterose específica x L	40	2,24 ^{ns}	189,65 ^{ns}	115,16 ^{ns}	687.143 ^{ns}	
Resíduo	210	2,18	136,88	116,81	516.590	
Média		58	209	108	7.446	
CV (%)		2,54	5,59	9,96	9,65	

^{ns}, * e **: Não significativo e significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

mento, por facilitar a seleção dos melhores genótipos e a recomendação de cultivares.

Os efeitos de parentais (\hat{p}_i) (Tabela 3) correspondentes aos efeitos do comportamento das populações *per se* são estimados pelos desvios das populações, em relação à média de todas as populações incluídas no dialelo. A menor estimativa de \hat{p}_i para FM foi de -1,12 d.a.s., na Pop.15, e o maior efeito de \hat{p}_i (1,20 d.a.s.) foi verificado na Pop.13. Para AP e AE, os efeitos de \hat{p}_i variaram de -14,14 cm a 5,98 cm e de -5,35 cm a 6,56 cm, respectivamente. Scapim et al. (2002) encontraram, para altura de plantas e de espigas, estimativas de \hat{p}_i que variaram de -4,42 cm a 6,90 cm e de -6,20 cm a 6,03, respectivamente.

Tabela 3. Estimativas dos efeitos de populações F_2 parentais (\hat{p}_i), efeitos de heterose de parentais (\hat{h}_i), heterose média (\hat{h}) e desvios padrões das estimativas (DP), para os caracteres florescimento masculino (FM), altura da planta (AP), altura de espiga (AE) e massa de grãos (MG), avaliados em esquema dialélico completo, em Campinas (SP), Mococa (SP) e Palmital (SP), no ano agrícola 2009/2010.

Parentais	\hat{p}_i			
	FM	AP	AE	MG
Pop.9	0,20	2,23	-2,81	116
Pop.10	0,31	0,30	-2,81	-437
Pop.11	-0,12	5,98	0,39	636
Pop.12	-0,12	4,01	6,56	-492
Pop.13	1,20	1,38	4,51	-389
Pop.14	0,31	-1,36	-5,35	300
Pop.15	-1,12	1,58	2,16	901
Pop.16	-0,68	-14,14	-2,65	-635
DP (\hat{p}_i)	0,79	6,31	5,83	388
DP ($\hat{p}_i - \hat{p}_j$)	1,20	9,55	8,82	587
Parentais	\hat{h}_i			
Pop.9	-0,02	-6,10	-1,39	-296
Pop.10	-0,13	3,93	-1,22	573
Pop.11	0,06	-0,47	-1,10	-171
Pop.12	-0,63	-0,28	-1,93	94
Pop.13	-0,02	-1,65	0,12	98
Pop.14	-0,32	-3,93	-0,70	-151
Pop.15	0,84	3,30	1,74	-360
Pop.16	0,23	5,21	4,49	214
DP (\hat{h}_i)	0,51	4,07	3,76	250
DP ($\hat{h}_i - \hat{h}_j$)	0,77	6,16	5,69	379
Heterose média (\hat{h})	-0,85	11,11	5,81	1.956
Heterose média (% \hat{h})	-1,46	5,54	5,59	33
DP (\hat{h})	0,34	2,70	2,50	166

Em relação a MG, as estimativas de \hat{p}_i variaram de 901 kg ha⁻¹ a -635 kg ha⁻¹, na Pop.15 e Pop.16, respectivamente. Pelos valores positivos das estimativas de populações F_2 parentais (\hat{p}_i) para MG, conclui-se que os parentais Pop.9, Pop.11, Pop.14 e Pop.15 apresentaram maior potencial de uso *per se* e estão associados aos efeitos genéticos aditivos (Tabela 3). Assim, a escolha do parental Pop.15 pelo seu alto desempenho é uma boa opção para programa de seleção recorrente intrapopulacional e na obtenção de linhagens superiores. Resultados semelhantes foram observados por Evgenidis et al. (2001), que encontraram valores altos e positivos de estimativa de \hat{p}_i para MG, nas populações PR-3183 e PX-95, de 908 kg ha⁻¹ e 976 kg ha⁻¹, respectivamente.

Para AP e AE, as populações mais promissoras, quanto ao efeito de populações F_2 parentais (\hat{p}_i), foram a Pop.14, com -1,36 cm, para planta, e -5,35 cm, para espiga, e Pop.16, com -14,14 cm, para planta, e -2,65 cm, para espiga. A Pop.14 destaca-se quanto a estimativas negativas de AP e AE e positiva para MG. Conforme relato de alguns autores, nos caracteres altura de plantas e de espigas, existe predominância de efeitos aditivos e dominância apenas parcial (Gorvalho & Miranda Filho 2001).

Para FM, as populações que associaram efeito de populações F_2 parentais (\hat{p}_i) com estimativa negativa de FM (-0,12 d.a.s. e -1,12 d.a.s.) e estimativa positiva de MG (636 kg ha⁻¹ e 901 kg ha⁻¹) foram a Pop.11 e Pop.15, respectivamente. Evgenidis et al. (2001) encontraram estimativa de \hat{p}_i para FM variando de -6,62 d.a.s., na B73 x Mo17, a 8,38 d.a.s., na Pop.45, e, também, evidenciaram a contribuição de 23,1% de locos heterozigóticos *versus* 39,6% de locos homozigóticos, na expressão deste caráter.

As estimativas de heterose média (\hat{h}) para FM, AP, AE e MG foram de -0,85 d.a.s.; 11,11 cm; 5,81 cm; e 1.956 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3). Assim, a heterose média será significativa quando houver efeitos significativos e direcionais da dominância e existir considerável divergência da frequência gênica nas populações, para o caráter em questão (Cruz & Vencovsky 1989).

O parâmetro heterose de parentais \hat{h}_i , por definição, é a diferença entre a média das heteroses dos híbridos e a heterose média \hat{h} (Tabela 3). Para o caráter FM, a maior estimativa de \hat{h}_i foi na Pop.15 (0,84 d.a.s.) e a menor para a Pop.12 (-0,63 d.a.s.). As estimativas de heterose de parentais (\hat{h}_i) para AP oscilaram de -6,10 cm a 5,21 cm, na Pop.9 e Pop.16,

respectivamente. Para AE, os efeitos de \hat{h}_i variaram entre -1,93 cm e 4,49 cm, referentes à Pop.12 e Pop.16, respectivamente. Pelos valores negativos de AP e AE, para os efeitos de \hat{h}_i , destacaram-se a Pop.9 e Pop.14 (-6,10 cm e -3,93 cm). Os maiores efeitos de MG ocorreram na Pop.10 e Pop.16, com destaque para a Pop.10, com estimativa de \hat{h}_i de 573 kg ha⁻¹, a qual se mostrou mais heterótica, em relação ao grupo de populações F₂ parentais. A população menos heterótica, em relação ao grupo, foi a Pop.15, com estimativa de \hat{h}_i de -360 kg ha⁻¹. Pelos valores altos e positivos do efeito de \hat{h}_i para MG, conclui-se que a Pop.10 e Pop.16 são promissoras em cruzamentos, para obtenção de híbridos, elevando a heterose.

Parentais cujos cruzamentos manifestam heterose alta e positiva apresentam divergência genética. Scapim et al. (2002) encontraram, para rendimento de grãos, uma população de milho-pipoca (CMS-42) que apresentou h_i elevado (392,04 kg ha⁻¹ e 324,50 kg ha⁻¹, nas safras de 1998/1999 e 1999/2000, respectivamente), demonstrando ser a mais divergente dentro do grupo de populações testadas. Silva & Miranda Filho (2003) indicaram que as populações mais heteróticas, para massa de espiga, foram a GN-01 (0,263 t ha⁻¹) e GO-B (0,221 t ha⁻¹), enquanto a estimativa negativa (-0,230 t ha⁻¹) foi para a GO-G.

O efeito de heterose específica (\hat{S}_{ij}) é interpretado como sendo o desvio de um cruzamento, em relação ao que seria esperado, na capacidade geral de combinação de seus parentais (Cruz & Vencovsky 1989). As estimativas de heterose específica (\hat{S}_{ij}) oscilaram entre -9,26 cm e 6,64 cm, para AP; -5,74 cm e 7,10 cm, para AE; -0,93 d.a.s. e 0,88 d.a.s., para FM; e -1.120 kg ha⁻¹ e 638 kg ha⁻¹, para MG (Tabela 4).

Para AP e AE, os híbridos que apresentaram menores estimativas de \hat{S}_{ij} , relacionadas com estimativas positivas de \hat{S}_{ij} de MG, foram a Pop.11 x Pop.9, Pop.15 x Pop.9, Pop.14 x Pop.10, Pop.14 x Pop.12, Pop.16 x Pop.13 e Pop.15 x Pop.14.

Os híbridos que apresentaram as maiores estimativas de \hat{S}_{ij} de MG foram a Pop.13 x Pop.10, Pop.12 x Pop.10, Pop.14 x Pop.13 e Pop.16 x Pop.13, o que é indicativo de efeitos de dominância, na expressão deste caráter. Verifica-se que os híbridos mais produtivos têm heteroses específicas positivas e altas, enquanto os menos produtivos apresentam heteroses específicas negativas e altas.

Silva & Miranda Filho (2003) obtiveram, para massa de espigas, valores altos e positivos de efeitos de populações (\hat{p}_i), de 0,746 t ha⁻¹ e 0,452 t ha⁻¹, na

Tabela 4. Estimativa do efeito de heterose específica (\hat{S}_{ij}) e desvio padrão da estimativa (DP) de 28 híbridos de populações F₂ de milho, resultantes de dialelo completo entre 8 populações F₂ parentais, para os caracteres florescimento masculino (FM), altura da planta (AP), altura de espiga (AE) e massa de grãos (MG), referentes aos experimentos de Campinas (SP), Mococa (SP) e Palmital (SP), no ano agrícola 2009/2010.

Híbridos	\hat{S}_{ij}			
	FM	AP	AE	MG
Pop.10 x Pop.9	0,74	-0,43	-0,23	-99
Pop.11 x Pop.9	0,20	-0,52	-1,45	52
Pop.12 x Pop.9	-0,86	-3,66	1,47	5
Pop.13 x Pop.9	-0,25	6,13	3,01	273
Pop.14 x Pop.9	-0,29	1,84	2,69	-402
Pop.15 x Pop.9	0,15	-4,70	-3,63	125
Pop.16 x Pop.9	0,31	1,33	-1,86	46
Pop.11 x Pop.10	0,37	-9,26	-2,52	-443
Pop.12 x Pop.10	-0,14	6,64	2,80	529
Pop.13 x Pop.10	0,02	2,37	0,51	638
Pop.14 x Pop.10	-0,68	-0,29	-1,41	117
Pop.15 x Pop.10	-0,45	5,77	3,11	-30
Pop.16 x Pop.10	0,15	-4,80	-2,25	-711
Pop.12 x Pop.11	0,53	1,90	0,10	-262
Pop.13 x Pop.11	0,48	3,01	2,55	215
Pop.14 x Pop.11	-0,21	-2,29	-2,16	-15
Pop.15 x Pop.11	-0,44	5,23	-0,65	360
Pop.16 x Pop.11	-0,93	1,92	4,13	94
Pop.13 x Pop.12	0,41	-7,21	-3,67	-909
Pop.14 x Pop.12	0,48	-2,12	-5,74	142
Pop.15 x Pop.12	-0,07	-0,74	2,58	327
Pop.16 x Pop.12	-0,34	5,18	2,45	168
Pop.14 x Pop.13	0,09	6,22	7,10	493
Pop.15 x Pop.13	-0,46	-4,99	-4,26	-1.120
Pop.16 x Pop.13	-0,29	-5,54	-5,25	410
Pop.15 x Pop.14	0,39	-2,91	-0,20	4
Pop.16 x Pop.14	0,22	-0,45	-0,27	-339
Pop.16 x Pop.15	0,88	2,34	3,05	333
DP (\hat{S}_{ij})	0,72	5,70	5,27	351
DP ($\hat{S}_{ij} - \hat{S}_{ik}$)	1,10	8,72	8,05	536
DP ($\hat{S}_{ij} - \hat{S}_{ik}$)	0,98	7,79	7,20	479

GN-03 e GN-04, respectivamente. As populações mais heteróticas foram a GN-01 (0,263) e GO-B (0,221) e o efeito da heterose específica variou de -0,321 (GN-01 x GN-03) a 0,547 (GO-B x GN-03). Estes autores enfatizaram que o híbrido GO-B x GN-03 destacou-se quanto à massa de espigas, por reunir os efeitos de variedades favoráveis da GN-03, os de heterose da GO-B e efeito de heterose específica relativamente alta, evidenciando boa complementação gênica das variedades, em locos

com efeito de dominância. Os resultados obtidos por estes autores assemelham-se aos deste trabalho, onde destacaram-se os híbridos Pop.12 x Pop.10, Pop.13 x Pop.10, Pop.14 x Pop.10, Pop.15 x Pop.11, Pop.15 x Pop.12, Pop.14 x Pop.13, Pop.16 x Pop.13 e Pop.16 x Pop.15, dentre os parentais de bom potencial (\hat{p}_i) e/ou divergentes (\hat{h}_i), associando efeitos positivos de heterose específica. Assim, os parentais Pop.11, Pop.14 e Pop.15 tiveram melhor desempenho *per se* e, quanto à heterose de parentais (\hat{h}_i), destacaram-se as populações Pop.10, Pop.12, Pop.13 e Pop.16, podendo ser utilizadas em programas de melhoramento.

CONCLUSÕES

1. Os híbridos de populações F_2 apresentaram potencial produtivo e desempenho não diferencial, em regiões edafoclimáticas distintas.
2. Efeitos significativos de heterose média, heterose de parentais e heterose específica evidenciaram o potencial heterótico de híbridos de populações F_2 de milho.
3. Destacaram-se, quanto aos efeitos de heterose de parentais (\hat{h}_i), a Pop.10, Pop.12, Pop.13 e Pop.16 e, quanto aos efeitos de parentais *per se* (\hat{p}_i), a Pop.11, Pop.14 e Pop.15, constituindo populações promissoras para programas de melhoramento de milho.
4. Houve predominância de efeitos não aditivos na manifestação de massa de grãos e altura de plantas dos híbridos, enquanto, para altura de espiga e florescimento, predominaram efeitos aditivos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de Mestrado concedida, e ao Dr. Paulo Boller Gallo e Dr. Aildson Pereira Duarte, pela execução dos experimentos em Mococa e Palmital.

REFERÊNCIAS

BALESTRE, M. et al. Yield stability and adaptability of maize hybrid based on GGE biplot analysis characteristics. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Viçosa, v. 9, n. 3, p. 219-228, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2009/10: 12º levantamento de safra*. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 12 set. 2010.

CRUZ, C. D. *Aplicativo computacional em genética e estatística: programa genes*. Viçosa: UFV, 1997.

CRUZ, C. D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 425-438, 1989.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. *Cultivares*. 2009. Disponível em: <<http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 15 out. 2010.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. *Cultivares para 2010/2011*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

EVGENIDIS, G. et al. Analysis of diallel crosses among CIMMYT's subtropical-temperate and adapted to the U.S. Corn Belt maize populations. *Maydica*, Bergamo, v. 46, n. 1, p. 47-52, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). *Food and agricultural commodities production*. 2008. Disponível em: <<http://www.faostat.fav.org>>. Acesso em: 12 set. 2010.

GARBUGLIO, D. D.; ARAÚJO, P. M. Avaliação de híbridos intervarietais de milho por meio de cruzamento dialélico parcial, considerando quatro ambientes. *Semina Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 3, p. 379-392, 2006.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, Raleigh, v. 22, n. 3, p. 439-452, 1966.

GORGULHO, E. P.; MIRANDA FILHO, J. B. Estudo da capacidade combinatória de variedades de milho no esquema de cruzamento dialélico parcial. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 1, p. 1-8, 2001.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. de. *Quantitative genetics in maize breeding*. Ames: Iowa State University Press, 1988.

PUCH, T.; LAYRISSE, A. Utilización de generaciones avanzadas de híbridos simples como progenitores de híbridos dobles de maíz. *Agronomia Tropical*, Maracay, v. 55, n. 1, p. 103-116, 2005.

SCAPIM, C. A. et al. Análise dialélica e heterose de populações de milho-pipoca. *Bragantia*, Campinas, v. 61, n. 3, p. 219-230, 2002.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SILVA, R. M.; MIRANDA FILHO, J. B. Heterosis expression in crosses between maize populations: ear yield. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 519-524, 2003.

VALDIVIA, R.; SIERRA, M. Selección de progenitores de maíz para la obtención de semilla híbrida por pequeños agricultores. *Agronomia Mesoamericana*, Alajuela, v. 11, n. 2, p. 85-89, 2000.

VENCOSKY, R.; BARRIGA, P. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992.