

## Depressão Endogâmica e Heterose em Híbridos de Populações F<sub>2</sub> de Milho

Cristiani Santos Bernini<sup>1,4</sup>; Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani<sup>2</sup>, Eduardo Sawazaki<sup>2</sup>, Aildson Pereira Duarte<sup>2</sup>, Paulo Boller Gallo<sup>3</sup> e Paula de Souza Guimarães<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Pós-Graduandas do Instituto Agronômico, IAC. Centro de Grãos e Fibras, e-mail: cristianibernini@yahoo.com.br (Bolsista CAPES); psguim@yahoo.com.br (FAPESP) <sup>2</sup> Instituto Agronômico (IAC). Centro de Grãos e Fibras, Caixa Postal 28, 13012-970, Campinas (SP); e-mail: elisa@iac.sp.gov.br; sawazaki@iac.sp.gov.br; aildson@apta.sp.gov.br <sup>3</sup> APTA Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista, Mococa (SP), e-mail: paulogallo@apta.sp.gov.br

**Resumo** - A heterose e a depressão por endogamia são fenômenos complementares, sendo importantes nas estratégias de melhoramento, tanto de híbridos convencionais como de melhoramento de populações. Este trabalho teve por objetivos avaliar híbridos de populações F<sub>2</sub> quanto aos caracteres agronômicos, estimar a heterose em relação à média dos pais e determinar a depressão endogâmica das populações F<sub>2</sub>. Foram avaliados 10 híbridos de populações F<sub>2</sub>, 5 populações F<sub>2</sub> parentais e 5 híbridos comerciais parentais F<sub>1</sub>, quanto aos caracteres agronômicos: FM, AP, AE e PG, em dois locais do Estado de São Paulo, em Mococa e Palmital, sob delineamento de blocos ao acaso. A estimativa de depressão por endogamia variou de 48,1% na Pop. 10 a 17,95% na Pop. 12, para PG. A heterose média em relação à média dos pais foi de 37,3%, representado pela elevada produtividade alcançada pelos híbridos de F<sub>2</sub>. Baseado nestes resultados foi possível evidenciar dois híbridos de populações F<sub>2</sub> que apresentaram potencial produtivo, alta estimativa de heterose média e desempenho não diferencial em diferentes condições edafoclimáticas.

**Palavras-Chave:** *Zea mays* L., híbridos intervarietais, dialelo completo.

### Introdução

A importância agronômica do milho avança junto com a pesquisa científica, que tem conduzido a cultura à melhoria da produtividade, com a introdução dos programas de híbridos e variedade macho-estéril no início do século XX, e dos métodos de melhoramento via seleção recorrente até o cultivo de transgênicos. Os trabalhos de hibridação iniciaram com Beal (1870) com híbridos intervarietais, East e Shull (1908, 1909) que estabeleceram o sistema endogamia-hibridação, Jones (1918) que sugeriu a utilização de híbridos duplos para viabilizar a comercialização da semente híbrida e Kiesselbach (1930) que propôs o uso de gerações avançadas de híbridos simples (F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>) como parentais na produção de sementes de híbridos duplos.

Nos programas de melhoramento de milho, o fenômeno da heterose é de grande importância na identificação de populações geneticamente divergentes como base para o desenvolvimento de linhagens a serem utilizadas em cruzamentos híbridos com o propósito de capturar o efeito gênico não aditivo que promove dominância (HALLAUER, 1990).

Falconer e Mackay (1996) referem à heterose como o inverso da depressão endogâmica. No processo de endogamia, devemos partir de populações geneticamente adequadas, o que significa que devem ter alta frequência de alelos favoráveis para os caracteres de interesse e pequena carga genética, isto é, baixa frequência de alelos deletérios. A carga de genes deletérios é usualmente estimada pelo componente de índice de depressão por endogamia.

Sobre depressão endogâmica e constituição genética das populações, os autores Viana et al. (1982), Lima et al. (1984) e Pacheco et al. (2002) citam que a carga genética baixa é esperada nas populações sintetizadas a partir de linhagens endogâmicas e compostos de base genética ampla que já passaram por processo de seleção contra alelos deletérios, quando comparadas com aquelas populações de alta heterozigose que nunca foram expostas a qualquer nível de endogamia.

Ante o exposto, o presente trabalho teve por objetivos avaliar híbridos de populações  $F_2$  quanto aos caracteres agronômicos, estimar a heterose em relação à média dos pais e determinar a depressão endogâmica na obtenção das populações  $F_2$  parentais.

### **Material e Métodos**

As cinco populações  $F_2$  parentais envolvidas neste estudo, denominadas de Pop. 10, Pop. 12, Pop. 13, Pop. 14 e Pop. 15, foram obtidas da autofecundação de híbridos comerciais e posterior intercruzamento ao acaso da geração  $F_2$ . Para a obtenção dos híbridos de populações  $F_2$  foi realizado dialelo completo 5 x 5 com as populações  $F_2$  parentais, na safra de verão de 2009/10, no Centro Experimental do Instituto Agrônômico.

Os experimentos de avaliação dos 10 híbridos de populações  $F_2$ , 5 populações  $F_2$  parentais e 5 híbridos comerciais parentais  $F_1$ , foram conduzidos no Apta Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista, em Mococa e na Apta Regional do Médio Paranapanema, em Palmital, na safra de verão de 2010/11. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 3 repetições, sendo cada parcela constituída por duas linhas de 5 m espaçadas de 0,85 m, com área total de 8,5 m<sup>2</sup>.

Foram avaliados os seguintes caracteres agronômicos: dias para o florescimento masculino (FM), altura de planta (AP) altura de espiga (AE) e peso de grãos (PG) – obtida considerando-se a massa (em kg) dos grãos resultantes da debulha, em debulhadora de parcela, do total de espigas. A massa de grãos em kg ha<sup>-1</sup> foi corrigida para 14% de umidade e estande ideal de 50 plantas, empregando o método da covariância (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992).

Foram efetuadas análises de variância individual e conjunta, considerando o modelo fixo, sendo as médias comparadas pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A estimativa de heterose de cada híbrido intervarietal de sintéticos foi obtida pela seguinte expressão:

$$H \% = \frac{\overline{HI} - \overline{MP}}{\overline{MP}} \times 100$$
, em que:  $H \%$  = heterose relativa do híbrido de populações F<sub>2</sub>;  $\overline{HI}$  = média do híbrido de populações F<sub>2</sub>;  $\overline{MP}$  = média dos parentais.

A depressão por endogamia foi estudada utilizando a metodologia desenvolvida por GARDNER (1965) e apresentadas em detalhes por Vencovsky & Barriga (1992). Com base no modelo aditivo dominante, as médias de uma população panmítica, revela que  $\mu$  é a média geral,  $a$  fornece informação acerca da contribuição cumulativa dos locos em homozigose à média da população e  $d$  representa a contribuição dos locos em heterozigose. Para estimação da depressão por endogamia (I), em porcentagem, é empregado o seguinte modelo estatístico:

$$DP = \left[ \frac{(\overline{F}_1 - \overline{F}_2)}{\overline{F}_1} \right] * 100$$
, em que:  $\overline{F}_1$  = média do híbrido comercial parental;  $\overline{F}_2$  = média da população após uma geração de autofecundação. As análises foram efetuadas empregando-se o programa Genes (CRUZ, 2006).

### Resultados e Discussão

Constatada a homogeneidade dos quadrados médios dos resíduos, efetuou-se a análise de variância conjunta dos 10 híbridos de populações F<sub>2</sub>, 5 populações F<sub>2</sub> parentais e 5 híbridos comerciais, havendo significância do efeito de tratamentos para FM e PG (p<0,01) e AP (p<0,05). O efeito da interação tratamentos por locais foi significativo para FM (p<0,01) e AP (p<0,05) e não significativo para PG e AE. O contraste de grupos (híbridos de F<sub>2</sub> versus F<sub>1</sub>), excluindo-se os dados referentes aos parentais F<sub>2</sub>, foram altamente significativos para FM e PG (p<0,01) e não significativo para AP e AE. O efeito de grupos por locais foi detectado a não significância de FM, AE e PG, indicando comportamento não diferencial dos híbridos nos dois locais de avaliação, o que é um resultado altamente interessante para o programa de melhoramento em questão.

Destacaram-se três híbridos de populações F<sub>2</sub> com maior média de produtividade de grãos de 9.811 kg ha<sup>-1</sup>, que não diferiram estatisticamente do híbrido comercial HC14 (9.733 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 1). Os híbridos de F<sub>2</sub> Pop.15 x Pop.10, Pop.15 x Pop.12, Pop.14 x Pop.13 e Pop.15 x Pop.13 de produtividade intermediária, apresentaram PG de maior valor do que as obtidas pelos parentais F<sub>2</sub> e do HC12. Em estudo anterior, Bernini e Paterniani (2012)

demonstraram o potencial de produção destes híbridos intervarietais, com destaque para o híbrido Pop.13 x Pop.10 com 8.777 kg ha<sup>-1</sup>.

Para florescimento masculino (Tabela 1), todos híbridos de populações F<sub>2</sub> foram classificados como mais precoces, com médias de 59 d.a.s. (Mococa) e 65 d.a.s. (Palmital), e como mais tardios destacaram, a Pop.13 com 61 d.a.s. e HC 13 com 64 d.a.s, em Mococa. Ressalta-se que a média de FM dos híbridos intervarietais foi muito próxima a dos parentais F<sub>2</sub> (60 d.a.s. – Mococa e 67 d.a.s. – Palmital) e dos híbridos comerciais (60 d.a.s – Mococa e 66 d.a.s. – Palmital) evidenciando que as populações em estudo atendem a objetivos propostos por programas de melhoramento de obtenção de híbridos mais precoces.

Em Mococa, os híbridos intervarietais Pop.13 x Pop.10, Pop.14 x Pop.10, Pop.13 x Pop.12 e Pop.15 x Pop.14, os parentais F<sub>2</sub> (Pop.10, Pop.12, Pop.13 e Pop.14) e o HC13, e em Palmital o híbridos de F<sub>2</sub> Pop.14 x Pop.12, os parentais F<sub>2</sub> (Pop.10, Pop.12, Pop.14 e Pop.15) e dois híbridos comerciais (HC12 e HC14), tiveram o menor valor de altura de planta (Tabela 1). Para AE, as médias variaram de 128 cm para Pop.13 e HC13 a 106 cm na Pop.10. Doná et al. (2011) encontraram menores valores de AE de 113 cm e 77 cm, em Campinas e Mococa, respectivamente, no híbrido de F<sub>2</sub> Pop.8 x Pop.3.

As estimativas de depressão por endogamia para AP, AE e FM, foram mais baixas do que as obtidas pela PG, evidenciando que os efeitos de dominância são menos importantes para estas características (Tabela 2). A depressão por endogamia média foi de 6,04% para altura de planta e espiga. SCAPIM et al. (2006) encontraram predominância de efeito aditivo e depressão por endogamia de 10% para altura de planta e espiga. As populações que apresentaram alta estimativa de depressão por endogamia para PG foram as Pop. 10 (48,10%), Pop. 13 (36,28%) e Pop. 14 (39,20%), para FM foi a Pop. 15 (4,89%), para AP e AE foram as Pop. 10 (12,99 e 8,89%, respectivamente) e Pop. 15 (7,51 e 10,13%, respectivamente) (Tabela 3). As populações que apresentaram baixas estimativas de I% para PG foram as Pop. 12 (17,95%) e Pop. 15 (25,26%). Koutsika-sotiriou & Karagounis (2005) verificaram para o híbrido comercial Prezia estimativa de I% baixa, de 28,9%, e os híbridos Constanza e Nubia apresentaram estimativa maior, de 44,3% e 54,7% respectivamente.

As estimativas de heterose média estão apresentadas na Tabela 3 para os caracteres FM, AP, AE e PG. Para o caráter AP, verificou-se a amplitude de variação de porcentagens de H<sub>MP</sub> de 3,7 a 16,1%, nos respectivos híbridos Pop.15 x Pop.14 e Pop.12 x Pop.10. Para AE, o maior H<sub>MP</sub> foi obtida para o híbrido Pop.12 x Pop.10 (12,5%), enquanto os híbridos Pop.14 x Pop.13 e Pop.13 x Pop.12 apresentaram H<sub>MP</sub> negativos de -4,4 e -4,2%, respectivamente.

Quanto ao FM a amplitude de variação de  $H_{MP}$  foi de -4,68% no híbrido Pop.14 x Pop.13 a 0,39% no híbrido Pop.15 x Pop.13. Nos caracteres AE e FM, alguns cruzamentos apresentaram heterose negativa, indicando que os desvios de dominância atuaram predominantemente no sentido de diminuí-los.

Para PG, os híbridos Pop.12 x Pop.10 e Pop.13 x Pop.10 destacaram-se com as maiores PG e  $H_{MP}$  (3.999 kg ha<sup>-1</sup> e 3.332 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente, e heterose relativa média de 57,6%. Resultado semelhante foi encontrado por Paterniani et al. (2010), que obtiveram estimativas de  $H_{MP}$  de 3.682 kg ha<sup>-1</sup> a 1.097 kg ha<sup>-1</sup> em híbridos de F<sub>2</sub>.

### Conclusões

Foram evidenciados dois híbridos intervarietais promissores que apresentaram potencial produtivo, alta estimativa de heterose média e desempenho não diferencial, em diferentes condições edafoclimáticas.

A Pop. 12 apresentou baixa estimativa de depressão por endogamia para produtividade de grãos e florescimento masculino, enquanto que a Pop. 15 se destacou apenas para produtividade, sendo assim indicadas na obtenção de linhagens promissoras e na seleção recorrente intrapopulacional.

A Pop. 10 obteve alto índice de depressão por endogamia para as características PG, AP e AE sendo recomendada para programas de híbridos de populações F<sub>2</sub> e na seleção recorrente recíproca.

### Literatura Citada

- BERNINI, C.S.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. Estimativas de parâmetros de heterose em híbridos de populações F<sub>2</sub> de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.1, p.56-62, jan./mar., 2012.
- CRUZ, C.D. Aplicativo computacional em genética e estatística: programa genes. Biometria. 1 ed. Viçosa: UFV, 382p., 2006.
- DONÁ, S.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; GALLO, P.B.; DUARTE, A.P. Heterose e seus componentes em híbridos de populações F<sub>2</sub> de milho. **Bragantia**, Campinas. v.70, n.4, 2011.
- EVGENIDIS, G.; FOTIADIS, N.; GEORGIADIS, S.; LIGOS, E.; MELLIDIS, B.; SFAKIANAKIS, J. Analysis of diallel crosses among CIMMYT's subtropical-temperate and adapted the U.S. Corn Belt maize populations. **Maydica**. v.46, p.47-52, 2001.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4 ed. London: Longman, 1996, 464p.
- GARDNER, C.O. Teoría de genética estadística aplicable a las medias de variedades, sus cruces y poblaciones afines. **Fitotec. Latinoamer.**, San Jose, v.2, p. 11-22, 1965.
- HALLAUER, A.R. Methods used in developing maize inbred lines. **Maydica**, Bergamo, v.35, n.1, p.1-16, 1990.
- KOUTSIKA-SOTIROU, M.S.; KARAGOUNIS, CH.A. Assessment of maize hybrids. **Maydica**. v.50, p.63-70, 2005.
- LIMA, M.; MIRANDA-FILHO, J.B.; GALLO, P.B. Inbreeding depression in Brazilian populations of maize (*Zea mays* L.), **Maydica**, v.29, p.203-215, 1984.

PACHECO, C.A.P.; SANTOS, M.X.dos; CRUZ, C.D.; PARENTONI, S.N.; GUIMARÃES, P.E.O.de; GOMES E GAMA, E.E.; SILVA, A.E.da; CARVALHO, H.W.L.de; JÚNIOR, P.A.V. Inbreeding depression of 28 maize elite open pollinated varieties. **Genetics and Molecular Biology**, v.25, n.4, p.441-448, 2002.

PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; BERNINI, C.S.; GUIMARÃES, P. de S.; DONÁ, S.; GALLO, P.B.; DUARTE, A.P. Potencial produtivo e heterose de híbridos de populações F<sub>2</sub> de milho no Estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 27, n. 1/3, jan./dez., 2010.

SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; PINTO, R.J.B.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; RODOVALHO, M.A.; SILVA, R.M.; MORTELE, L.M. Componentes genéticos de médias e depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. **Ciência Rural**. v.36, n.1, p.63-69, 2006.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 496p. 1992.

VIANA, R.T.; GOMES E GAMA, E.E.; NASPOLINI FILHO, V.; MÔRO, J.R.; VENCOVSKY, R. Inbreeding depression of several introduced populations of maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, v.27, n.3, p.151-157, 1982.

**Tabela 1** - Médias dos caracteres peso de grãos (PG), florescimento masculino (FM), altura de planta (AP) e altura de espiga (AE) de 10 híbridos de populações F<sub>2</sub>, 5 populações F<sub>2s</sub> de sintéticos e 5 híbridos comerciais F<sub>1s</sub> em Mococa e Palmital (SP), no ano agrícola 2010/11.

Híbridos F <sub>2s</sub>	PG <sup>1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )		FM (d.a.s.)		AP (cm)		AE (cm)	
			Mococa	Palmital	Mococa	Palmital		
Pop.12 x Pop.10	9.922	a-d	58 a	66 a	223 a	247 a	121 a	
Pop.13 x Pop.10	9.911	a-d	60 a	66 a	198 a	257 a	121 a	
Pop.14 x Pop.10	8.368	c-g	60 a	65 a	195 a	235 a	111 a	
Pop.15 x Pop.10	9.014	b-f	59 a	65 a	207 a	237 a	116 a	
Pop.13 x Pop.12	6.755	f-h	60 a	66 a	182 a	248 a	113 a	
Pop.14 x Pop.12	8.183	c-h	59 a	66 a	220 a	227 a	113 a	
Pop.15 x Pop.12	9.045	b-f	58 a	65 a	208 a	237 a	118 a	
Pop.14 x Pop.13	9.239	b-e	58 a	64 a	202 a	238 a	113 a	
Pop.15 x Pop.13	8.870	b-f	60 a	66 a	201 a	243 a	123 a	
Pop.15 x Pop.14	9.599	a-d	59 a	66 a	194 a	243 a	120 a	
Média - híbridos F <sub>2s</sub>	8.890		59	65	203	241	117	
<b>Parentais F<sub>2s</sub></b>								
Pop.10	6.198	g-h	60 a	69 a	192 a	210 a	106 a	
Pop.12	5.847	h	59 a	66 a	194 a	213 a	108 a	
Pop.13	6.960	e-h	61 ab	67 a	175 a	240 a	128 a	
Pop.14	5.917	h	60 a	68 a	190 a	222 a	108 a	
Pop.15	7.540	d-h	59 a	64 a	203 a	228 a	111 a	
Média - parentais F <sub>2s</sub>	6.492		60	67	191	223	112	
<b>Híbridos F<sub>1s</sub></b>								
HC10	11.943	a	60 a	65 a	212 a	250 a	116 a	
HC12	7.127	e-h	60 a	66 a	215 a	213 a	113 a	
HC13	10.924	a-b	64 b	65 a	198 a	240 a	129 a	
HC14	9.733	a-d	58 a	66 a	211 a	225 a	109 a	
HC15	10.088	a-c	60 a	69 a	216 a	250 a	123 a	

Média - híbridos F <sub>1s</sub>	9.963	60	66	210	236	118
Média geral	8.559	60	66	202	235	116
CV (%)	9,4	2,2	1,6	9,9	4,5	11,5

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste Tukey (P<0,05)

<sup>1</sup>: dados corrigidos para 14% umidade e estande ideal; HC: híbrido comercial.

**Tabela 2** – Estimativas de índice de depressão por endogamia (I %) de 5 populações após 1 geração de autofecundação (F<sub>2</sub>), para peso de grãos (PG), florescimento masculino (FM), altura de planta (AP) e altura de espiga (AE). 2010/11.

Trats	PG			FM		
	$\bar{F}_1$	$\bar{F}_2$	I (%)	$\bar{F}_1$	$\bar{F}_2$	I (%)
Pop.10	11.943	6.198	48,1	62	64	-3,2
Pop.12	7.127	5.847	17,9	63	62	0,7
Pop.13	10.925	6.960	36,2	65	64	1,0
Pop.14	9.733	5.917	39,2	62	64	-2,9
Pop.15	10.088	7.540	25,2	65	61	4,8

  

Trats	AP			AE		
	$\bar{F}_1$	$\bar{F}_2$	I (%)	$\bar{F}_1$	$\bar{F}_2$	I (%)
Pop.10	231	201	12,9	116	106	8,8
Pop.12	214	204	4,9	113	108	4,2
Pop.13	219	207	5,3	129	128	0,9
Pop.14	218	206	5,5	109	108	0,9
Pop.15	233	215	7,5	123	111	10,1

**Tabela 3** – Estimativas da heterose em relação à média das populações F<sub>2s</sub> de sintéticos (H<sub>MP</sub>), heterose relativa (H<sub>MP</sub>%) para peso de grãos (PG), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e florescimento masculino (FM) em Mococa e Palmital. 2010/11.

Híbridos F <sub>2s</sub>	PG		AP		AE		FM	
	kg ha <sup>-1</sup>	%	cm	%	cm	%	d.a.s.	%
Pop.12 x Pop.10	3.899	64,7	33	16,1	13	12,5	-1	-2,4
Pop.13 x Pop.10	3.332	50,6	23	11,4	3	3,0	-1	-2,0
Pop.14 x Pop.10	2.310	38,1	12	5,7	4	4,2	-2	-2,5
Pop.15 x Pop.10	2.145	31,2	14	6,6	7	6,9	-0,9	-1,4
Pop.13 x Pop.12	351	5,4	10	4,7	-5	-4,2	-0,2	-0,3
Pop.14 x Pop.12	2.301	39,1	18	9,0	5	4,4	-0,9	-1,4
Pop.15 x Pop.12	2.352	35,1	12	6,0	9	8,0	-0,7	-1,0
Pop.14 x Pop.13	2.800	43,4	14	6,6	-5	-4,4	-3	-4,6
Pop.15 x Pop.13	1.619	22,3	11	5,0	3	2,7	0,2	0,3
Pop.15 x Pop.14	2.870	42,6	8	3,7	10	9,5	-0,1	-0,1