

Análise combinatória de populações de milho pipoca em *topcrosses*

Adilson Luiz Seifert⁽¹⁾, Valéria Carpentieri-Pípolo⁽¹⁾, Josué Maldonado Ferreira⁽²⁾ e Antônio Carlos Gerage⁽³⁾

⁽¹⁾Universidade Estadual de Londrina (UEL), Dep. de Agronomia, Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445, Km 380, Campus Universitário, Caixa Postal 6.001, CEP 86051-990 Londrina, PR. E-mail: seifert@uel.br, pipolo@uel.br ⁽²⁾UEL, Dep. de Biologia. E-mail: josuemf@uel.br ⁽³⁾Instituto Agrônomo do Paraná, Área de Melhoramento e Genética Vegetal, Caixa Postal 481, CEP 86001-970 Londrina, PR. E-mail: milhoger@pr.gov.br

Resumo – O objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de *topcrosses*, o potencial heterótico de 14 populações de milho pipoca. No ano agrícola 1997/1998, foram obtidos os híbridos *topcrosses* resultantes dos cruzamentos das populações com o testador, que se constituiu da mistura eqüitativa de sementes de todas as 14 populações. No ano agrícola 1999/2000, as populações e os híbridos foram avaliados em dois experimentos, em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Foram estimados os parâmetros genéticos, e realizadas as análises de variância dos *topcrosses* e das populações. Com base nos resultados da capacidade geral de combinação das populações avaliadas nos *topcrosses*, para os caracteres produtividade e capacidade de expansão, foram selecionadas, para formar o composto amplo, as populações genitoras UEL SI, UEL PAP, UEL ZP, UEL PP, CMS 43 e RS 20. Esse composto apresenta maior potencial para uso como população base no melhoramento.

Termos para indexação: *Zea mays everta*, capacidade de expansão, heterose, capacidade geral de combinação.

Combining ability analysis of popcorn populations in *topcrosses*

Abstract – The objective of this work was to evaluate the heterotic potential of 14 popcorn populations through *topcrosses*. In the 1997/1998 crop year, *topcrosses* hybrids were obtained as a result of crosses between the populations and the tester, which was composed of an equal mixture of seeds from all 14 populations. The populations and the hybrids were evaluated in field, in a randomized block design, with three replications. The estimates for genetic parameters and the *topcrosses* variance analyses were made. Based on the results of yield and popping expansion of the experiments, the following populations were selected for the syntheses of composite: UEL SI, UEL PAP, UEL ZP, UEL PP, CMS 43 and RS 20. This broad composite is the most promising for use as base populations in breeding programs.

Index terms: *Zea mays everta*, popping expansion, heterosis, general combining ability.

Introdução

O milho pipoca, apesar da sua popularidade no Brasil, tem o processo de produção e comercialização pouco estudado. Há, também, escassez de informações oficiais sobre a área semeada, produtividade e quantidade importada. Estima-se que a produção nacional seja de aproximadamente 20 mil toneladas, e que o consumo atual esteja em torno de 81 mil toneladas de grãos (Galvão et al., 2000; Pereira & Amaral Júnior, 2001).

Um dos maiores problemas enfrentados pelos produtores de milho pipoca é a falta de opções de cultivares no mercado, que reúnam boas características agrônomicas com alto índice de capacidade de expansão. Segundo Sawazaki (1996), o fato de o produto nacional apresentar qualidade muito inferior ao importado está

restringindo o mercado e desestimulando a cultura no Brasil. Esta situação ocorre em razão de a cultura do milho pipoca não ter recebido a mesma atenção que a cultura do milho comum. No Brasil, apenas sete cultivares híbridas de milho pipoca estão registradas no SNPC (Serviço Nacional de Proteção de Cultivares), das quais seis são de acesso restrito aos produtores parceiros das empresas detentoras de sementes (Sawazaki, 2001).

A heterose manifestada pelos híbridos pode, também, ser explorada em programas de melhoramento da cultura do milho pipoca. Nesse contexto, uma das técnicas genético-estatísticas mais interessante tem sido a análise de cruzamentos dialélicos, em razão do grande número de informações genéticas que podem oferecer ao melhorista. Um fator limitante à utilização de cruzamen-

tos dialélicos é o número de genitores avaliados, particularmente nos casos em que o número de variedades (acessos) é grande, a ponto de comprometer a produção e avaliação dos híbridos, tornando mais adequada, nesse caso, a utilização dos *topcrosses* (Cruz & Regazzi, 1994; Chaves & Miranda Filho, 1997).

O trabalho realizado por Chaves & Miranda Filho (1997) demonstrou que a predição da média de compostos pode ser feita sem o cruzamento dialélico das variedades genitoras. Os autores sugeriram o uso de *topcrosses*, em vez dos dialélicos, para a análise de variância e estimação dos parâmetros do modelo reduzido de Gardner (1967), e propuseram metodologia para a predição de médias de compostos.

O objetivo deste trabalho foi realizar a predição de médias de compostos de milho pipoca por meio de *topcrosses*, a fim de selecionar populações que possam ser utilizadas na síntese de compostos com alto rendimento de grãos e capacidade de expansão.

Material e Métodos

Foram utilizadas 14 populações de milho pipoca: nove procedentes de três gerações de seleção massal, estratificada dentro de variedades locais, selecionadas em lavouras de agricultores no Norte do Paraná (UEL MP, UEL YY, UEL SI, UEL MPS, UEL BG, UEL PAG, UEL PAP, UEL ZP e UEL PP); dois compostos procedentes da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG (CMS 42 e CMS 43); e três populações comerciais, cedidas pelo Instituto Agronômico do Paraná (RS 20/IPAGRO-RS, Capitão e Japonesa).

O campo para a obtenção dos cruzamentos foi instalado e conduzido em 1997/1998, na Área Experimental do Instituto Agronômico do Paraná (Iapar). As 14 populações foram semeadas separadamente, como fileiras femininas, e o testador como fileira masculina. O testador, uma mistura eqüitativa de sementes de todas as 14 populações, foi semeado em duas épocas, com intervalo de sete dias, intercalado com as fileiras femininas, na proporção de três para dois, respectivamente. As fileiras femininas e o testador foram semeados em linhas de 10 m de comprimento, com espaçamento de 0,9 m entre linhas e densidade de cinco plantas por metro. As fileiras femininas foram despendoadas no início do florescimento masculino.

As populações e os híbridos *topcrosses* foram avaliados em 1999/2000, em dois experimentos: Experimento I, instalado na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Londrina, PR, com semeadura realizada em novembro de 1999; Experimento II, ins-

talado na Área Experimental do Iapar, com semeadura realizada em outubro de 1999. Os experimentos seguiram o delineamento de blocos ao acaso, com três repetições e 28 tratamentos (14 híbridos *topcrosses* e 14 populações).

A unidade experimental foi constituída de duas fileiras de 4 m de comprimento, espaçamento de 0,9 m entre fileiras e densidade de cinco plantas por metro linear. Os solos da área dos experimentos I e II foram classificados como Latossolo Vermelho distroférico com relevo suave ondulado e textura muito argilosa.

As áreas utilizadas nesta pesquisa vêm sendo cultivadas, nos últimos 20 anos, com cultura anual, no sistema de rotação milho/soja, e a acidez do solo tem sido corrigida a cada dois anos, conforme exigências da análise de solo e recomendações técnicas.

A adubação empregada na semeadura, para ambos os ensaios, foi 500 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16. Para a adubação de cobertura, utilizou-se 60 kg ha⁻¹ de uréia, 30 dias após a emergência (Instituto Agronômico de Campinas, 1996). Os demais tratos culturais foram realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura do milho (Embrapa, 1996).

Foram avaliados os seguintes caracteres: altura de planta (AP, em metros), em três plantas competitivas por parcela; altura de espiga (AE, em metros); posição relativa da espiga na planta (PREP); número total de espigas colhidas por parcela (NE); número de plantas por parcela (ST); número de espigas por planta (NEP); florescimento feminino (FF); peso total de grãos na parcela (PG, kg parcela⁻¹), corrigidos para umidade padrão de 13,5% e stand (ST) ideal de 40 plantas, por meio da metodologia de correção por covariância (Vencovsky & BARRIGA, 1992); e capacidade de expansão (CE, em mL mL⁻¹), avaliada em grãos com 11% de umidade, em forno de microondas (Gökmen, 2004).

Para a análise dos dados, utilizou-se o SAS (SAS Institute, 1995). As estimativas dos parâmetros genéticos, efeito de variedades (v_j), de heterose (h_j), capacidade geral de combinação (g_i) e as análises de variâncias de *topcrosses*, obtenção de $\hat{g}_i$ e $\hat{s}_{ij}$, bem como k (tamanho do composto), para cada caráter avaliado, foram realizadas segundo Chaves & Miranda Filho (1997), obtidas pelo modelo reduzido de Gardner (1967).

Resultados e Discussão

O volume de precipitações, em novembro, favoreceu o desenvolvimento e as avaliações dos híbridos *topcrosses* no experimento I. A estiagem ocorrida no mês de outubro prejudicou o experimento II, principal-

mente nas avaliações de PG e CE. Assim, foi dada maior ênfase à discussão dos resultados obtidos no experimento I.

O resumo das análises de variância dos ensaios *topcrosses*, em dois experimentos para PG, NEP, AP, PREP e FF, é apresentado na Tabela 1. Pode-se observar que os coeficientes de variação (CV%) foram baixos, o que revela boa precisão experimental para ensaios conduzidos em campo.

Foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, para todos os caracteres avaliados (PG, NEP, AP, PREP e FF), exceto para CE no experimento I, e PREP no experimento II. No experimento II, exceto para NEP, foram detectados efeitos significativos de variedades (v_j), para todos os caracteres com significância de tratamentos. Efeitos significativos de heterose média ($\bar{h}$) foram observados, no experimento I, para PG, CE, NEP, AP e FF, e para PG, NEP e AP no experimento II. Quando o quadrado médio da heterose média é significativo, a variância das frequências gênicas entre as variedades é suficientemente grande em, pelo menos, parte dos locos com dominância, e as variedades, nessas condições, são divergentes nesses locos (Vencovsky, 1970).

O efeito de variedade (v_j) está relacionado aos componentes aditivos das médias, e o da heterose (h_j) rela-

ciona-se aos componentes de dominância, o que indica uma diversidade entre os materiais, e diferenças no potencial dessas populações, para o uso em programas de melhoramento. Entretanto, para a heterose (h_j), apenas os caracteres PG, NEP e FF, no experimento I, e FF no experimento II apresentaram efeitos significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente (Tabela 1). Para os caracteres AP e PREP, os efeitos de variedades (v_j s) foram preponderantes, o que indica a importância maior dos componentes aditivos sobre os de heterose (h_j), na manifestação desses caracteres. Entretanto, para PG e FF, tanto efeitos aditivos como de dominância contribuíram para a manifestação dessas características. Essa situação pode ter sido decorrente do fato de as variedades não diferirem muito, em suas médias, para essas características.

A análise conjunta dos experimentos mostrou efeitos significativos para tratamento, em todos os caracteres avaliados (PG, NEP, AP, PREP e FF), o que mostra que os tratamentos apresentaram diferenças entre si. A significância para a interação tratamentos x local só foi verificada para os caracteres AP e PREP, indicando interação dos materiais com o ambiente para esses caracteres (Tabela 2). O efeito significativo de local revelou que o ambiente do experimento I favoreceu a maior expressão dos caracteres PG, AP, PREP e uma redução dos dias para florescimento.

Tabela 1. Análises de variância individuais de *topcrosses* de milho pipoca, em dois experimentos, para as características peso de grãos (PG, em t ha⁻¹), capacidade de expansão (CE, em mL mL⁻¹), número de espiga por planta (NEP), altura de planta (AP, em metros), posição relativa da espiga na planta (PREP) e florescimento feminino (FF, em dias)⁽¹⁾.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio										
		PG	CE	NEP	AP	PREP	FF	PG	NEP	AP	PREP	FF
		Experimento I					Experimento II					
Tratamentos	27	670,95 ^{**}	3,8502 ^{ns}	26,344 ^{**}	39,760 ^{**}	2,0495 ^{**}	24,451 ^{**}	171,51 ^{**}	25,231 ^{**}	12,491 ^{**}	0,5420 ^{ns}	27,353 ^{**}
Variedades	13	628,19 ^{**}	2,5129 ^{ns}	18,017 ^{**}	51,982 ^{**}	3,3805 ^{**}	45,389 ^{**}	147,27 ^{**}	17,461 ^{ns}	22,672 ^{**}	0,7311 ^{ns}	48,465 ^{**}
Heterose média	1	4.839,40 ^{**}	16,3860 [*]	196,440 ^{**}	288,730 ^{**}	0,8306 ^{ns}	7,682 [*]	1.618,10 ^{**}	186,720 ^{**}	15,089 ^{**}	0,0167 ^{ns}	0,321 ^{ns}
Heterose de variedades	13	393,06 ^{**}	4,2233 ^{ns}	21,587 ^{**}	8,386 ^{ns}	0,8124 ^{ns}	4,803 ^{**}	84,48 ^{ns}	20,578 ^{ns}	2,109 ^{ns}	0,3933 ^{ns}	8,319 [*]
Erro	54	148,33	2,7943	0,011	5,078	0,5562	1,218	57,58	12,580	1,761	0,5331	3,928
CV (%)		15,67	7,17	0,30	3,74	3,84	1,91	13,50	10,36	2,84	4,27	3,10

⁽¹⁾Valores de quadrado médio multiplicados por 10⁻³; graus de liberdade de erro igual a 53, para o caráter PG. ^{ns}Não-significativo. * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 2. Análises de variância conjuntas dos ensaios de *topcrosses* de milho pipoca, para as características peso de grãos (PG, em t ha⁻¹), número de espiga por planta (NEP), altura de planta (AP, em metros), posição relativa da espiga na planta (PREP) e florescimento feminino (FF, em dias)⁽¹⁾.

Caráter	Fontes de variação									
	Local		Bloco/Local		Tratamento		Trat. x Local		Erro	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
PG	1	19,434,00 ^{ns}	2	406,15 ^{ns}	27	1,950,50**	27	576,840 ^{ns}	108	307,73
NEP	1	4,53 ^{ns}	2	112,23**	27	154,65**	27	0,078 ^{ns}	110	20,70
AP	1	7,654,40**	2	78,44*	27	129,20**	27	27,548**	110	10,63
PREP	1	238,35**	2	6,70*	27	4,91**	27	2,855*	110	1,72
FF	1	1,615,70**	2	20,79 ^{ns}	27	146,31	27	9,103 ^{ns}	110	7,72

⁽¹⁾Valores de quadrado médio multiplicados por 10⁻³. ^{ns}Não-significativo. * e **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

As estimativas positivas de v_j , h_j e g_i são apresentadas na Tabela 3. Valores de g_i positivos, para PG, foram observados em UEL YY, UEL SI, UEL PAP, UEL ZP, UEL PP, CMS 42, CMS 43 e RS 20, no experimento I. Esses valores foram confirmados no experimento II, para UEL MP, UEL MPS, UEL PAG, UEL PAP, UEL PP, CMS 42, CMS 43 e Japonesa. Estas populações apresentaram as maiores estimativas positivas de g_i , sendo, portanto, de maior potencial para aumentar a média desse caráter, quando utilizadas em cruzamentos. Estes dados são demonstrados nas Tabelas 4 e 5, experimentos I e II, respectivamente, que apresentam tais populações como as melhores médias *topcrosses*.

A população CMS 43 apresentou o melhor desempenho na avaliação *per se* e também em combinação híbrida com o testador, comprovando os valores positivos de v_j e g_i (Tabela 4). Entretanto, nem sempre as populações que se destacam na avaliação *per se* são as que conseguem bons desempenhos quando em combinações híbridas (Hallauer, 1990).

Para CE, os maiores valores positivos de v_j foram estimados para as populações CMS 43, UEL YY, Japonesa, UEL SI, UEL ZP, UEL PP e Capitão. Para h_j , os maiores valores positivos ocorreram para as populações RS 20, UEL PAG, UEL MPS, UEL PAP, UEL MP, UEL BG e UEL ZP. Para g_i , as populações RS 20, UEL MPS, UEL PAG, UEL ZP, UEL PAP, CMS 43, UEL MP, UEL BG e UEL PP apresentaram maiores valores positivos.

A capacidade de expansão (CE) é o caráter de maior importância no milho pipoca, por estar relacionado diretamente com a qualidade da pipoca. As populações com maiores efeitos de v_j (Tabela 3), que apresentaram as maiores médias da variável CE (Tabela 4), possuem maiores frequências de alelos favoráveis para CE,

provavelmente como resultado do melhoramento para esta característica. Neste trabalho, a média geral das populações para CE foi 24,10 mL mL⁻¹ (Tabela 4). A média geral da capacidade de expansão dos materiais comerciais testados no Ensaio Nacional de Milho Pipoca 1991/1992, realizado pela Embrapa, foi de 17,39 (Pacheco, 1992), muito abaixo do padrão exigido pelas empresas que atuam no setor. Em 1997/1998, em Londrina, PR, diversos genótipos avaliados por Carpentieri-Pípelo et al. (2002) apresentaram a CE entre 18,53 e 27,50 mL mL⁻¹. Destacaram-se os genótipos UEL ZP, UEL SI e UEL PAP, com valores para CE de 27,50, 27,15 e 24,40 mL mL⁻¹, respectivamente. Tais resultados são considerados promissores para utilização dos materiais em programas de melhoramento.

A seleção para maiores valores médios de CE (Tabela 4) acarretou diminuição dos potenciais produtivos das populações. Isto era previsto, em virtude da existência de correlação negativa entre estas características (Lyerly, 1942; Lira, 1983; Silva et al., 1993; Sawazaki, 1996; Carpentieri-Pípelo et al., 2002). Todavia, as relações não são grandes o bastante para impedir que se obtenham ganhos positivos para CE e produção, simultaneamente, quando se faz a seleção com base nestes dois caracteres (Sawazaki, 1995; Carpentieri-Pípelo et al., 2002).

Os resultados médios observados para o caráter NEP, nas populações e *topcrosses* para os experimentos I e II, são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Em geral, as médias observadas foram de aproximadamente uma espiga por planta. Destacaram-se com os maiores valores médios a população parental CMS 43 e o *topcross* Japonesa TC. Galvão et al. (2000) relataram relação direta entre prolificidade e produtividade, com magnitude de correlação de 0,65 para esses caracteres.

Tabela 3. Estimativas dos efeitos de variedade (v_j), de heterose (h_j) e da capacidade geral de combinação (g_i), obtidas nos experimentos de avaliação de *topcrosses* de milho pipoca⁽¹⁾.

População	Experimento I												Experimento II											
	PG			CE			AP			FF			PG			AP			FF					
	v _j	h _j	g _i	v _j	h _j	g _i	v _j	h _j	g _i	v _j	h _j	g _i	v _j	h _j	g _i	v _j	h _j	g _i	v _j	h _j	g _i			
UEL MP	0,63	-1,33	-1,02	-1,83	1,54	0,63	0,13	0,01	0,16	-1,24	1,94	1,32	0,30	-0,09	0,06	0,13	-0,07	-0,01	1,93	2,93	3,89			
UEL YY	-1,10	0,79	0,24	2,25	-3,08	-1,95	-0,19	0,05	-0,04	-0,57	0,78	0,49	-0,22	-0,08	-0,19	-0,15	0,07	-0,01	-2,07	2,93	1,89			
UEL SI	0,34	0,47	0,64	1,54	-2,03	-1,23	0,06	-0,06	-0,03	-1,24	1,17	0,55	-0,14	0,00	-0,07	0,03	0,02	0,04	-0,74	1,76	1,39			
UEL MPS	0,04	-1,28	-1,26	-0,46	3,12	2,89	-0,17	-0,14	-0,23	-4,24	0,97	-1,15	-0,01	0,03	0,03	-0,10	-0,05	-0,11	-4,74	-0,96	-3,33			
UEL BG	-0,55	-0,01	-0,28	-1,29	1,23	0,58	-0,17	0,10	0,01	-0,24	-0,58	-0,70	0,03	-0,45	-0,44	-0,07	0,02	-0,01	-3,07	3,12	1,59			
UEL PAG	0,12	-0,26	-0,20	-3,67	3,29	1,46	0,02	-0,12	-0,11	-4,90	5,25	2,80	0,43	0,05	0,27	0,00	0,05	0,06	-3,40	2,93	1,23			
UEL PAP	-0,96	0,59	0,11	-1,58	2,03	1,24	-0,17	-0,06	-0,15	-4,57	0,78	-1,51	-0,19	0,28	0,18	-0,17	0,08	-0,01	-5,40	-1,35	-4,05			
UEL ZP	0,06	0,17	0,20	1,54	0,50	1,27	-0,02	0,01	0,00	-0,24	1,75	1,63	-0,22	-0,14	-0,25	0,06	-0,03	-0,01	-1,40	1,76	1,06			
UEL PP	0,24	0,21	0,33	1,08	-0,26	0,28	0,13	-0,05	0,02	-1,24	1,17	0,55	0,22	0,19	0,30	-0,07	-0,04	-0,07	-2,74	0,21	-1,16			
Capitão	0,01	-1,59	-1,57	0,33	-4,14	-3,98	-0,15	-0,12	-0,20	-0,24	-6,81	-6,92	-0,29	-0,42	-0,56	-0,14	-0,09	-0,16	-4,07	-2,51	-4,55			
CMS 042	0,99	0,66	1,16	-1,25	-1,52	-2,15	0,31	0,25	0,40	0,76	-0,78	-0,40	0,32	0,03	0,19	0,26	-0,04	0,09	3,93	1,76	3,73			
CMS 043	1,27	0,73	1,37	2,37	-0,23	0,95	0,36	0,01	0,28	2,76	-3,11	-1,73	0,76	-0,23	0,15	0,23	-0,02	0,10	4,93	-11,26	-8,80			
Japonesa	-0,40	0,20	0,00	1,62	-4,17	-3,36	-0,10	0,10	0,05	20,76	-3,11	7,27	-0,67	1,10	0,77	0,08	0,08	0,13	18,93	0,40	9,87			
RS 20	-0,69	0,63	0,28	-0,67	3,73	3,40	-0,05	-0,15	-0,17	-5,57	0,58	-2,20	-0,31	-0,27	-0,42	-0,07	0,02	-0,01	-2,07	-1,74	-2,77			

⁽¹⁾PG: peso de grãos (t ha⁻¹); CE: capacidade de expansão (mL mL⁻¹); AP: altura de planta (m); FF: florescimento feminino (dias).

Para os caracteres AP e FF, valores negativos e menores para estimativas de parâmetros são altamente desejáveis, pois contribuem, por meio do modelo aditivo, na redução da média de AP e FF das populações.

Exceto para h_j no experimento II, as populações CMS 42 e CMS 43 apresentaram valores de v_j , h_j e g_i positivos, o que contribuiu para o aumento da AP, provavelmente por possuírem maior frequência de genes aditivos (Tabela 3). Entretanto, as populações RS 20 e UEL SI, no experimento I, e UEL PAP e UEL MP, no experimento II, apresentaram g_i s negativos, que podem auxiliar na redução da AP (Tabela 3). Estes dados estão nas Tabelas 4 e 5, experimentos I e II, respectivamente, em que estas populações apresentam as melhores médias *per se* e em combinação híbrida com o testador, tanto para aumentar quanto para reduzir a AP.

Nos dados de progênies de irmãos germanos, a variedade Santa Rosa, obtida a partir de materiais america-

nos, obteve médias de 1,62 m para AP (Regitano Neto, 1993). Menor porte de planta (1,67 m) também foi obtido por Lira (1983), em uma população de Lavras. Populações de porte alto são suscetíveis ao acamamento e quebramento, e populações de porte baixo, além da menor suscetibilidade a estes problemas, possuem melhor adaptação à mecanização durante a colheita, melhor adaptabilidade à semeadura, em densidades populacionais mais altas, e maior resistência ao estresse hídrico (Santacruz-Varela et al., 2004).

Os maiores valores positivos de v_j e g_i para FF foram apresentados pela população Japonesa, nos dois experimentos (Tabela 3). Estes resultados indicam que, em termos práticos, ocorreu um aumento geral de 20 dias para FF, com relação à média geral dos experimentos I e II (Tabelas 4 e 5). Neste trabalho considerou-se que, pelo conjunto de suas características, a população Japonesa pertence a um grupo heterótico diferente das demais populações.

Tabela 4. Médias das populações e respectivos cruzamentos *topcrosses*, obtidos do experimento de milho pipoca na UEL⁽¹⁾.

População ⁽²⁾	Experimento I					
	PG	CE	NEP	AP	PREP	FF
CMS 043 TC	4,14a	23,5a	1,29c	2,27a	0,62b	57c
CMS 042 TC	3,94a	20,6a	1,07i	2,37a	0,66a	58c
UEL SI TC	3,45a	21,6a	1,06i	1,99b	0,62b	59c
CMS 043	3,31a	26,5a	1,26d	2,16a	0,66a	60c
UEL PP TC	3,18a	22,9a	1,20f	2,03b	0,64a	59c
RS 20 TC	3,07a	25,4a	1,15g	1,85c	0,62b	56c
UEL ZP TC	3,05a	23,8a	1,02k	2,01b	0,63a	60c
CMS 042	3,03a	22,8a	0,97m	2,12a	0,66a	58c
UEL YY TC	3,00a	21,0a	1,04j	1,96b	0,56b	59c
UEL PAP TC	2,90a	23,5a	1,09h	1,87c	0,54b	57c
Japonesa TC	2,85a	19,8a	1,48a	2,04b	0,68a	66b
UEL PAG TC	2,72a	23,5a	1,40b	1,91b	0,62b	60c
UEL MP	2,67a	22,3a	1,09h	1,94b	0,61b	56c
UEL BG TC	2,59a	23,0a	0,96m	2,00b	0,57b	58c
UEL SI	2,39b	25,6a	0,86o	1,86c	0,59b	56c
UEL PP	2,28b	25,2a	1,15g	1,94b	0,61b	56c
UEL PAG	2,17b	20,4a	1,00l	1,83c	0,54b	52d
UEL ZP	2,10b	25,6a	0,96m	1,79c	0,58b	57c
UEL MPS	2,08b	23,6a	1,00l	1,64d	0,58b	53d
Capitão	2,05b	24,4a	0,88n	1,65d	0,64a	57c
UEL MP TC	2,05b	23,0a	1,23e	2,16a	0,67a	59c
UEL MPS TC	1,80b	25,0a	1,16g	1,80c	0,60b	57c
Japonesa	1,64b	25,7a	0,73p	1,70d	0,73a	78a
Capitão TC	1,52b	19,2a	1,04j	1,82c	0,67a	52d
UEL BG	1,49b	22,8a	1,02k	1,63d	0,59b	57c
RS 20	1,35b	23,4a	1,03j	1,75c	0,60b	52d
UEL PAP	1,08b	22,5a	0,89n	1,64d	0,55b	53d
UEL YY	0,94b	26,3a	1,00l	1,61d	0,60b	57c
Média populações	2,04	24,10	0,99	1,80	0,61	57
Média <i>topcrosses</i>	2,87	22,55	1,16	2,01	0,62	58
Média geral	2,46	23,32	1,07	1,90	0,62	58
CV (%)	26,89	12,41	0,61	6,48	6,62	3,31

⁽¹⁾PG: peso de grãos (t ha⁻¹); CE: capacidade de expansão (mL mL⁻¹); NEP: número de espigas por planta; AP: altura de planta (m); PREP: posição relativa da espiga na planta (m); FF: florescimento feminino (dias); médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁽²⁾TC: cruzamentos *topcrosses*.

Tabela 5. Médias das populações e respectivos cruzamentos *topcrosses*, obtidos do experimento de milho pipoca no IAPAR⁽¹⁾.

População ⁽²⁾	Experimento II				
	PG	NEP	AP	PREP	FF
Japonesa TC	2,63a	1,49a	1,61a	0,57a	74b
CMS 043	2,29a	1,27a	1,68a	0,52a	69c
UEL PP TC	2,29a	1,20a	1,43c	0,55a	62d
UEL PAG TC	2,28a	1,41a	1,55b	0,55a	65c
CMS 042 TC	2,21a	1,07a	1,60a	0,57a	67c
CMS 043 TC	2,20a	1,30a	1,60a	0,52a	57d
UEL PAP TC	2,16a	1,09a	1,48b	0,52a	60d
UEL MP TC	2,09a	1,24a	1,50b	0,58a	67c
UEL MPS TC	2,04a	1,15a	1,40c	0,56a	61d
UEL PAG	1,97a	1,02a	1,45c	0,54a	61d
UEL SI TC	1,95a	1,07a	1,53b	0,48a	65c
CMS 042	1,88a	0,98a	1,72a	0,56a	68c
UEL YY TC	1,84a	1,05a	1,48b	0,54a	65c
UEL MP	1,83a	1,10a	1,58a	0,58a	66c
UEL ZP TC	1,78a	1,03a	1,50b	0,55a	65c
UEL PP	1,76a	1,16a	1,38c	0,53a	61d
UEL BG TC	1,65b	0,97a	1,48b	0,55a	65c
RS 20 TC	1,63b	1,16a	1,48b	0,52a	61d
UEL BG	1,56b	1,02a	1,38c	0,53a	61d
UEL MPS	1,52b	1,02a	1,35c	0,56a	59d
Capitão TC	1,52b	1,05a	1,35c	0,53a	60d
UEL SI	1,40b	0,86a	1,48b	0,52a	63d
UEL PAP	1,34b	0,89a	1,28c	0,53a	59d
UEL YY	1,32b	1,01a	1,30c	0,51a	62d
UEL ZP	1,32b	0,97a	1,52b	0,54a	63d
Capitão	1,30b	0,90a	1,32c	0,57a	60d
RS 20	1,23b	1,04a	1,38c	0,54a	62d
Japonesa	0,87b	0,76a	1,53b	0,55a	83a
Média populações	1,54	1,00	1,45	0,54	64
Média <i>topcrosses</i>	2,02	1,16	1,50	0,54	64
Média geral	1,78	1,08	1,48	0,54	64
CV (%)	23,16	17,85	4,92	7,39	5,37

⁽¹⁾PG: peso de grãos (t ha⁻¹); NEP: número de espigas por planta; AP: altura de planta (m); PREP: posição relativa da espiga na planta (m); FF: florescimento feminino (dias). Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁽²⁾TC: cruzamentos *topcrosses*.

O desempenho médio dos *topcrosses* foi superior ao obtido pelas populações *per se*, e evidenciou a ocorrência de heterose nos *topcrosses*. Alguns melhoristas acreditam que as avaliações de populações em *topcrosses* são prejudicadas pelo fato de os cruzamentos apresentarem diversas características indesejáveis, associadas à introdução dos alelos do testador (Lonnquist & Lindsey, 1964; Souza, 2000). Teoricamente, o testador contribui com 50% dos alelos, e apenas os 50% restantes representariam os genótipos avaliados (Pinto et al., 2004). Além deste efeito, os alelos do testador podem interagir ou não com os alelos dos genótipos a serem avaliados, prejudicando a representatividade das diferenças desses genótipos. No presente trabalho, o fato de o testador ser constituído por uma mistura das sementes das populações não influenciou na discriminação dos *topcrosses*.

Segundo Ferreira (1999), os efeitos heteróticos também são aproveitados na síntese de compostos. Por isso, o parâmetro g_i fornece um bom indicativo da contribui-

ção da população na formação do composto, pois permite o cruzamento e recombinação de materiais com elevada frequência de alelos favoráveis.

Nas 14 populações avaliadas, foram selecionadas as melhores estimativas de parâmetros v_j , h_j e g_i para os experimentos *topcrosses*, com maior ênfase para os g_i dos caracteres PG e CE, para o experimento I, e PG para o experimento II. No experimento I, foram selecionadas, para predição de médias de compostos, as populações UEL SI, UEL PAP, UEL ZP, UEL PP, CMS 43 e RS 20. Para as condições do experimento I, rejeitaram-se as populações UEL MPS e UEL PAG em razão dos valores negativos de g_i para o caráter PG, apesar de seus valores positivos de g_i para CE. No experimento II, foram selecionadas as populações UEL PAG e CMS 42. Miranda Filho & Chaves (1991) salientam que a variabilidade genética de um composto está relacionada à diversidade genética entre as variedades que entram em sua formação.

Na Tabela 6, são apresentadas as médias de compostos de tamanho k estimadas para os caracteres estudados. Para o caráter PG, os grupos de compostos de

Tabela 6. Médias individuais de compostos de milho pipoca de diferentes tamanhos (k) estimadas a partir das médias individuais das 14 populações e seus respectivos *topcrosses*⁽¹⁾.

Experimento I ⁽²⁾							Experimento II ⁽³⁾					
k=2	PG	CE	NEP	AP	PREP	FF	k=2	PG	NEP	AP	PREP	FF
12	3,01	24,0	0,91	1,91	0,61	59	12	2,14	1,30	1,53	0,57	66
13	3,12	23,4	1,05	1,96	0,62	58	13	2,10	1,21	1,45	0,57	65
14	3,90	24,1	1,13	2,14	0,62	58	14	2,08	1,10	1,62	0,59	69
15	2,87	24,5	1,00	1,81	0,61	55	15	2,16	1,29	1,61	0,56	63
23	2,83	24,7	1,05	1,95	0,63	59	23	2,24	1,29	1,45	0,54	62
24	3,61	25,3	1,13	2,14	0,63	58	24	2,22	1,18	1,62	0,57	67
25	2,58	25,8	1,00	1,81	0,61	56	25	2,30	1,37	1,61	0,53	61
34	3,72	24,7	1,27	2,18	0,64	58	34	2,18	1,09	1,54	0,57	66
35	2,69	25,2	1,14	1,85	0,62	55	35	2,26	1,28	1,53	0,53	60
45	3,46	25,9	1,22	2,04	0,62	55	45	2,24	1,17	1,70	0,55	64
k=3							k=3					
123	3,23	23,6	1,01	1,96	0,63	59	123	2,27	1,32	1,48	0,57	65
124	3,81	24,0	1,07	2,11	0,62	58	124	2,23	1,24	1,59	0,58	68
125	3,11	24,8	0,98	1,86	0,61	57	125	2,26	1,38	1,59	0,55	63
134	3,87	23,5	1,17	2,13	0,63	58	134	2,22	1,15	1,53	0,58	67
135	3,19	24,3	1,08	1,88	0,62	57	135	2,25	1,29	1,52	0,55	62
145	3,76	24,7	1,14	2,02	0,62	56	145	2,21	1,21	1,64	0,57	65
234	3,66	24,7	1,16	2,13	0,64	58	234	2,33	1,23	1,54	0,57	65
235	2,96	25,4	1,07	1,89	0,63	57	235	2,35	1,37	1,54	0,53	60
245	3,53	25,8	1,12	2,03	0,62	57	245	2,32	1,29	1,65	0,55	63
345	3,61	25,4	1,22	2,05	0,63	56	345	2,31	1,19	1,59	0,55	62
k=4							k=4					
1234	3,79	23,7	1,11	2,10	0,63	58	1234	2,31	1,26	1,54	0,58	67
1235	3,26	24,5	1,04	1,91	0,63	58	1235	2,32	1,36	1,53	0,55	62
1245	3,71	24,8	1,08	2,02	0,62	57	1245	2,29	1,30	1,62	0,57	64
1345	3,77	24,4	1,17	2,03	0,63	57	1345	2,29	1,22	1,57	0,57	64
2345	3,59	25,3	1,15	2,04	0,63	57	2345	2,37	1,29	1,58	0,55	62
k=5							k=5					
12345	3,71	24,5	1,11	2,03	0,63	57	12345	2,34	1,30	1,57	0,56	64

⁽¹⁾PG: peso de grãos (t ha⁻¹); CE: capacidade de expansão (mL mL⁻¹); NEP: número de espigas por planta; AP: altura de planta (m); PREP: posição relativa da espiga na planta (m); FF: florescimento feminino (dias). ⁽²⁾1: UEL SI; 2: UEL ZP; 3: UEL PP; 4: CMS 43; 5: RS 20. ⁽³⁾1: UEL MP; 2: UEL PAG; 3: UEL PP; 4: CMS 42; 5: CMS 43.

mesmo tamanho com maior k ($k = 4$ e $k = 5$) apresentaram tendência de melhores médias, em relação aos grupos de menor k ($k = 2$ e $k = 3$). Esse fato foi também observado por Miranda Filho & Chaves (1991), em trabalho voltado à predição de médias de compostos de milho.

Comparando-se a média de PG e CE do composto amplo com as médias gerais de PG e CE dos demais compostos, no experimento I, verificou-se que C_T12345 apresentou menor média. No entanto, essas diferenças ($<0,1$) não confirmaram que a superioridade dos compostos menores pudesse justificar sua escolha, em detrimento do composto C_T12345 ; o mesmo ocorreu para o experimento II (Tabela 6). Sob o ponto de vista do melhoramento de plantas, valores de $k \geq 4$ devem ser adotados na maioria dos casos (Miranda Filho & Chaves, 1991).

O composto C_T12345 foi selecionado, entre os demais, pelos seus valores de PG e CE. A utilização do C_T12345 , como população base no melhoramento, permitiria a exploração de seu potencial de variabilidade e de elevada frequência de alelos favoráveis para PG e CE.

Conclusões

1. A metodologia de cruzamento *topcrosses* intra-grupo é eficiente para auxiliar na escolha de populações para formar compostos.
2. O testador utilizado possibilita a identificação de genótipos superiores, entre as populações avaliadas.
3. A característica PG é influenciada tanto por efeitos aditivos como por efeitos de dominância.
4. As populações UEL SI, UEL ZP, UEL PP, CMS 43 e RS 20 apresentam-se mais promissoras para a síntese de compostos produtivos e com qualidade comercial.

Agradecimentos

Ao CNPq e à CAPES, pelas bolsas de estudo concedidas.

Referências

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; TAKAHASHI, H.W.; ENDO, R.M.; PETEK, M.R.; SEIFERT, A.L. Correlações entre caracteres quantitativos em milho pipoca. **Horticultura Brasileira**, v.20, p.551-554, 2002.

CHAVES, L.J.; MIRANDA FILHO, J.B. de. Predicting variety composite means without diallel crossing. **Brazilian Journal of Genetics**, v.20, p.501-506, 1997.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 1994. 390p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG). **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2.ed. Brasília: Embrapa-SPI; Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1996. 204p.

FERREIRA, J.M. **Análise genética de populações visando resistência à ferrugem (*Puccinia polysora* Underw.) em milho (*Zea mays* L.)**. 1999. 230p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GALVÃO, J.C.C.; SAWAZAKI, E.; MIRANDA, G.V. Comportamento de híbridos de milho-pipoca em Coimbra, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.47, p.201-218, 2000.

GARDNER, C.O. Simplified methods for estimating constants and computing sums of square for a diallel cross analysis. **Fitotecnica Latinoamericana**, v.4, p.1-12, 1967.

GÖKMEN, S. Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.357-362, 2004.

HALLAUER, A.R. Methods used in developing maize inbreds. **Maydica**, v.35, p.1-16, 1990.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

LIRA, M.A. **Seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos para produção, capacidade de expansão e correlações entre alguns caracteres em milho pipoca (*Zea mays* L.)**. 1983. 63p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LONNQUIST, J.H.; LINDSEY, M.F. Topcross versus S_1 line performance in maize. **Crop Science**, v.4, p.580-584, 1964.

LYERLY, P.J. Some genetic and morphologic characters affecting the popping expansion of popcorn. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.34, p.986-999, 1942.

MIRANDA FILHO, J.B. de; CHAVES, L.J. Procedures for selecting composites based on prediction methods. **Theoretical and Applied Genetics**, v.81, p.265-271, 1991.

PACHECO, C.A.P. **Ensaio nacional de milho pipoca: resultados do ano agrícola de 1991/1992**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1992. 37p.

PEREIRA, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T. Estimation of genetic components in popcorn based on nested design. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, p.3-10, 2001.

PINTO, R.J.B.; SCAPIM, C.A.; FERREIRA NETO, A.; PACHECO, C.A.P.; ROYER, M.; PEDRONI, M.V.; SALVADORI, R.K.; SILVA, R.M. Analysis of testers with broad and narrow genetic base for topcrosses in popcorn breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.4, p.152-162, 2004.

- REGITANO NETO, A. **Avaliação quantitativa da estrutura genética de uma população de milho pipoca**. 1993. 115p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- SANTACRUZ-VARELA, A.; WIDRLECHNER, M.P.; ZIEGLER, K.E.; SALVADOR, R.J.; MILLARD, M.J.; BRETTING, P.K. Phylogenetic relationships among North American popcorns and their evolutionary links to Mexican and South American popcorns. **Crop Science**, v.4, p.1456-1467, 2004.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS language and procedures**: usage statistics SAS Institute. Version 6. Cary, 1995. 373p.
- SAWAZAKI, E. A cultura do milho pipoca no Brasil. **O Agrônomo**, v.53, p.11-13, 2001.
- SAWAZAKI, E. **Melhoramento do milho pipoca**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. 21p.
- SAWAZAKI, E. **Parâmetros genéticos em milho pipoca**. 1996. 157p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- SILVA, W.J. da; VIDAL, B.C.; MARTINS, M.E.Q.; VARGAS, H.; PEREIRA, A.C.; ZERBETTO, M.; MIRANDA, L.C.M. What makes popcorn pop. **Nature**, v.362, p.417, 1993.
- SOUZA, E.D. **Divergência genética e avaliação de famílias S₁ e top crosses de milho, utilizando-se caracteres agronômicos e marcadores RAPD**. 2000. 88p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- VENCOVSKY, R. **Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades**. 1970. 59p. (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

Recebido em 18 de março de 2005 e aprovado em 11 de novembro de 2005