

Análise dialélica da capacidade combinatória de variedades de milho-pipoca

Rogério Alvares de Andrade¹, Cosme Damião Cruz², Carlos Alberto Scapim^{3*}, Lucas Silvério³, Ronald José Barth Pinto³ e Aelton Tonet³

¹Sementes Cargill, Goiás. ²Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ³Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: cascapim@uem.br

RESUMO. Seis variedades de milho pipoca (Amarela, Roxa, Branca, Rosa-claro, Beija-flor e Viçosa), *Zea mays* L. (Poaceae), seus 15 híbridos F_{1s} e 15 híbridos F_{1s} recíprocos foram avaliados em um delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, instalado em Viçosa, nos anos agrícolas 90/91 e 91/92, e Visconde do Rio Branco, em 91/92. Avaliaram-se os seguintes caracteres: altura da planta, altura da espiga, peso de grãos e capacidade de expansão. A variedade Viçosa foi indicada para ser usada em híbridos ou como fonte de linhagens para uso em programas de melhoramento intra ou interpopulacionais. O híbrido Viçosa x Roxa mostrou-se o mais desejável considerando rendimento e capacidade de expansão. As combinações Viçosa com Roxa e Rosa-claro com Beija-flor foram indicadas para iniciar programa de seleção recorrente recíproca, uma vez que foram as que mais se complementaram em relação ao peso de grãos e capacidade de expansão. Nestes programas, atenção especial deve ser dada à capacidade de expansão, que é a característica mais limitante nestes híbridos. Apesar de haver evidência de efeitos recíprocos para todos os caracteres, verificou-se pouca importância dos mesmos.

Palavras-chave: *Zea mays* L., rendimento, capacidade de expansão.

ABSTRACT. Diallel analysis of the combining ability of popcorn cultivars. A study of six improved varieties of popcorn ('Amarela', 'Roxa', 'Branca', 'Rosa-claro', 'Beija-flor' and 'Viçosa'), *Zea mays* L. (Poaceae), and their fifteen hybrids F₁ was carried out in Viçosa, in the agricultural years of 90/91 and 91/92, and Visconde do Rio Branco, in 91/92. The traits evaluated were plant height, ear corn height, yield and popping expansion, in order to indicate the best strategies for joint improvement of all characters. The 'Viçosa' variety was indicated to be used in hybrids or inbred lines development in intra or interpopulation improvement methods. 'Viçosa x Roxa' hybrid showed best results when considering yield and popping expansion. The combinations 'Viçosa' with 'Roxa' and 'Rosa-claro' with 'Beija-flor' were recommended to begin reciprocal recurrent selection program, because they were complementary in relation to yield and popping expansion. In these programs, more attention must be given to popping expansion, because it seems to be the biggest problem in hybrids. The reciprocal effects were not important for any trait.

Key words: *Zea mays* L., yield, popping expansion.

Introdução

O milho-pipoca, *Zea mays* L. (Poaceae), é um alimento bastante apreciado no Brasil. No entanto, seu plantio comercial mostra-se bastante modesto. Isto se deve, principalmente, à baixa qualidade da pipoca disponível no mercado brasileiro devido à limitação de cultivares de alta qualidade e tecnologia de produção inadequada. De acordo com Galvão *et al.* (2000), foram importadas em 1998

cerca de 61 mil toneladas de grãos, e a produção nacional foi de aproximadamente 20 mil toneladas.

No melhoramento do milho-pipoca, deve-se levar em consideração, além da produtividade e caracteres agrônomicos de interesse, aspectos relacionados à qualidade da pipoca, como textura e maciez. Ao agricultor, interessa produtividade elevada e os demais atributos de boa variedade de milho normal. Ao consumidor, interessa alta capacidade de

expansão (CE), que confere à pipoca melhor textura e maciez.

Neste contexto, comparação inicial entre as variedades brasileiras e norte-americanas de milho-pipoca mostrava que a qualidade da pipoca brasileira era muito inferior à norte-americana. No primeiro Ensaio Nacional de Milho-pipoca, conduzido no ano agrícola 1991/92, a CE média foi de 17,5 mL/mL, e a média do melhor cultivar foi de 20,8 mL/mL. Na década de 40 a Capacidade de Expansão (CE) de híbridos e variedades comerciais nos Estados Unidos já variava de 23,2 a 32,7 mL/g. Segundo Galvão et al. (2000) uma boa variedade de milho-pipoca deve ter CE acima de 21 mL/mL. Valores acima de 26 mL/mL indicam excelente pipoca.

Sawazaki et al. (2000) e Galvão et al. (2000) obtiveram resultados interessantes de produtividade e capacidade de expansão em São Paulo e na Zona da Mata de Minas Gerais, ou seja, a capacidade de expansão média variou de 32-36 mL/g e a produtividade média de grãos ficou acima de 4.000 kg/ha. São os híbridos de linhagens extraídas das populações Guarani e IAC-64 que apresentaram boa adaptação à região. Destaca-se também, a variedade de grãos brancos (BRS-ÂNGELA) do Centro Nacional de Pesquisa de Milho-Sorgo, com boa produtividade e expansão.

Apesar desses avanços, o número de cultivares é bastante reduzido. Diante desse aspecto, faz-se necessário avaliar o comportamento das variedades "per se" e em híbridos, a fim de orientar a escolha de materiais superiores e métodos de melhoramento a serem empregados dentro de um programa de melhoramento. Para se ter sucesso no programa são necessárias variedades com alta variabilidade.

Nesse sentido, uma das técnicas genético-estatísticas mais interessantes tem sido a análise de cruzamentos dialélicos em razão do grande número de informações genéticas que podem oferecer ao melhorista (Cruz, 1990; Cruz e Regazzi, 1994).

Existem poucos trabalhos em relação à análise dialélica em milho-pipoca. Nesse contexto, a avaliação da capacidade de expansão (CE) de seis variedades e de seus híbridos F_{1s} realizada por Sawazaki et al. (1986) mostrou amplas possibilidades de melhoramento da CE com o uso de híbridos intervarietais. Zanette (1989) analisou dialélico entre sete variedades de milho-pipoca e concluiu existir heterose para CE, embora esta não tenha variado de cruzamento para cruzamento.

Recentemente, Larish e Brewbaker (1999) analisaram dois dialélicos, um de seis variedades de milho-pipoca (4 dos trópicos e 2 norte-americanas) e

outro de cinco linhagens americanas para as características rendimento de grãos e capacidade de expansão nos trópicos. Houve heterose positiva para rendimento de grãos e heterose negativa para capacidade de expansão para os dois dialélicos. A razão entre capacidade geral de combinação e capacidade específica de combinação foi alta para todas as características, o que permitiria dessa maneira, ganhos rápidos por seleção. Ambos os dialélicos possibilitaram afirmar que os melhoristas dos trópicos deveriam trabalhar com dois grupos heteróticos formados pelas variedades Supergold e Jap Hulless.

Devido à inexistência de relatos no Brasil com as variedades Amarela, Roxa, Branca, Rosa-claro, Beija-flor e Viçosa, fez este presente trabalho, com os seguintes objetivos: a) avaliar as capacidades geral e específica de combinação de seis variedades de milho-pipoca e os efeitos recíprocos em seus híbridos F_1 's; b) indicar possíveis híbridos intervarietais promissores para utilização comercial.

Material e métodos

Usaram-se como genitoras as seguintes variedades de milho pipoca: Amarela, Roxa, Branca, Rosa-claro, Beija-flor e Viçosa. Todas pertencem à Universidade Federal de Viçosa, Estado de Minas Gerais, e foram desenvolvidas a partir de cruzamentos entre variedades locais e híbridos norte-americanos.

Foram feitos cruzamentos dialélicos para a obtenção dos 15 híbridos F_{1s} e 15 híbridos F_{1s} recíprocos. Para a obtenção dos híbridos, semearam-se no ano agrícola 89/90, as seis variedades, pareadas em todas as combinações possíveis. Na época do florescimento foram feitos todos os cruzamentos possíveis entre as mesmas, por meio de polinização planta a planta, efetuada manualmente. A multiplicação das variedades foi feita em lote à parte, por meio de polinização manual com mistura de pó len.

Posteriormente, os ensaios foram conduzidos em campos experimentais da Universidade Federal de Viçosa, em três ambientes: Viçosa-MG, nos anos agrícolas 90/91 e 91/92, e Visconde do Rio Branco-MG, no ano agrícola 91/92. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com 36 tratamentos e 3 repetições por ambiente. Cada parcela foi constituída de uma área útil de 6m².

Os caracteres avaliados foram: altura da planta (AP) - medida, em metros, após o pendoamento, do nível do solo à inserção da folha bandeira, em seis plantas competitivas por parcela; altura da espiga (AE) - medida, em metros, após o pendoamento, do nível do solo até a inserção da espiga superior

no colmo, nas mesmas seis plantas por parcela; peso de grãos (PG) - obtido por pesagem dos grãos debulhados, em kg/parcela; capacidade de expansão (CE) - obtida como a razão entre o volume da pipoca expandida e o volume dos grãos crus. Para cada parcela, uma amostra de 30 mL de grãos, medida em proveta graduada de 100 mL, foi estourada em uma pipoqueira elétrica com controle automático de temperatura, regulada para uma temperatura de 237° C por quatro minutos, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo, da Embrapa. O volume da pipoca expandida foi medido em uma proveta graduada de 1000 mL.

Fez-se a análise de variância em cada ambiente. A homogeneidade das variâncias residuais dos três ambientes foi testada por meio do teste do F máximo em 1% de probabilidade. A homogeneidade das médias estimadas foi analisada segundo o teste de Scott e Knott (1974), em 1% de probabilidade.

Com base nos resultados das análises de variância, as somas de quadrados de tratamentos foram decompostas em capacidade geral, capacidade específica de combinação e efeitos recíprocos, segundo a metodologia de Griffing (1956), método 1 e modelo 1.

Resultados e discussão

O teste F máximo, em 1% de probabilidade, não revelou heterogeneidade entre os quadrados médios do resíduo das análises individuais, para todos os caracteres, sendo possível a realização das análises de variâncias conjuntas.

O teste F das análises de variâncias conjuntas, indicou diferenças significativas entre os tratamentos, em 1% de probabilidade, para todos os caracteres estudados. O desdobramento das somas de quadrados de tratamentos revelou diferenças significativas entre as variedades "per se", em 1% de probabilidade, para todos os caracteres. Detectaram-se diferenças significativas entre híbridos F_{1s} , em 1% de probabilidade, para todos os caracteres, à exceção de altura da planta. Os quadrados médios de variedades *versus* F_{1s} foram significativos, em 1% de probabilidade para todos os caracteres, mostrando que o comportamento médio dos híbridos diferiu do comportamento médio das variedades.

Os quadrados médios de ambientes e da interação de tratamentos com ambientes foram significativos, em 1% de probabilidade. Apenas para o caráter capacidade de expansão, indicando a existência de diferenças entre as médias dos ambientes e que os tratamentos se comportaram

distintamente nos três ambientes quanto a este caráter.

Os coeficientes de variação oscilaram entre 11,14%, para altura de plantas, e 22,67%, para peso de grãos. Esses valores enquadram-se dentro dos limites aceitáveis da experimentação agrícola (Scapim *et al.*, 1995).

As médias dos caracteres agrônomicos das variedades e dos híbridos são apresentadas na Tabela 1, juntamente com seus agrupamentos pelo teste de Scott e Knott (1974), em 1% de probabilidade. A média de cada híbrido foi tomada como a média entre os dois cruzamentos (F_1 e recíproco).

Tabela 1. Médias das variedades genitoras e de seus híbridos F_{1s} , desvio-padrão (D.P.) e agrupamento pelo teste de Scott e Knott (1974), a 1% de probabilidade, para quatro caracteres em milho pipoca

Tratamentos	AP (m)	AE (m)	PG (kg/parcela)	Capacidade de Expansão		
				Viçosa 90/91	Rio Branco 91/92	Viçosa 91/92
Amarela (1)	2,19 B	1,40 A	1,66 D	12,70 D	8,33 D	9,67 D
Roxa (2)	2,17 B	1,38 A	1,15 F	12,93 D	8,80 D	11,57 C
Branca (3)	1,67 F	0,93 G	1,14 F	18,30 A	12,77 B	14,43 A
Rosa-claro (4)	1,85 E	1,01 F	1,07 F	13,40 C	9,53 D	11,13 C
Beija-flor (5)	1,52 G	0,81 H	0,68 G	15,73 B	14,57 A	12,97 B
Viçosa (6)	1,98 D	1,14 D	1,36 E	18,53 A	11,97 B	12,67 B
1x2	2,27 A	1,42 A	1,58 D	13,43 C	10,90 C	10,50 D
1x3	2,09 C	1,24 B	1,85 C	15,68 B	10,42 C	11,83 C
1x4	2,18 B	1,25 B	2,28 A	11,87 D	10,50 C	10,05 D
1x5	2,08 C	1,25 B	1,71 D	13,75 C	10,90 C	11,38 C
1x6	2,14 B	1,28 B	1,99 B	15,65 B	9,50 D	8,72 D
2x3	1,94 E	1,16 D	1,67 D	15,08 C	11,07 C	10,97 C
2x4	2,19 B	1,28 B	1,70 D	12,18 D	11,17 C	11,83 C
2x5	1,97 D	1,10 E	1,43 E	19,00 A	14,45 A	14,28 A
2x6	2,18 B	1,27 B	2,27 A	14,30 C	12,85 B	12,12 C
3x4	2,01 D	1,12 D	1,82 C	14,52 C	9,48 D	11,38 C
3x5	1,88 E	1,04 F	1,54 D	14,38 C	8,78 D	12,40 B
3x6	1,89 E	1,09 E	1,57 D	16,30 B	10,45 C	12,90 B
4x5	2,02 D	1,11 E	1,86 C	11,73 D	12,37 B	11,98 C
4x6	2,10 C	1,20 C	1,98 B	13,03 D	9,45 D	12,07 C
5x6	1,89 E	1,05 F	1,23 F	17,12 B	12,52 B	14,62 A
D.P.	0,0754	0,0473	0,1550	1,2737	1,1194	1,2296

AP=altura da planta; AE=altura da espiga; PG=peso de grãos

Para altura da planta, observou-se a formação de sete grupos, enquanto para altura da espiga formaram-se oito grupos. O tratamento que apresentou maior altura da planta (2,27 m) e da espiga (1,42 m) foi o híbrido Amarela x Roxa (1x2). Estes valores não são grandes o bastante para trazerem problemas de colheita que ocorrem quando se semeiam materiais muito altos.

O tratamento que apresentou o maior peso de grãos foi o híbrido Amarela x Rosa-claro (1x4), agrupado junto com Roxa x Viçosa (2x6). Suas produtividades foram equivalentes a 3.817 kg/ha e 3.767 kg/ha, respectivamente. Estes valores podem ser considerados altos, uma vez que a média geral do Ensaio Nacional de Milho Pipoca, no ano agrícola

91/92, foi de 2.075 kg/ha, e o cultivar mais produtivo produziu 3058 kg/ha.

Para capacidade de expansão, uma vez que houve interação dos tratamentos com os ambientes, o agrupamento das médias foi feito em cada ambiente separadamente (Tabela 1). Observou-se a formação de quatro grupos em cada ambiente. O híbrido Roxa x Beija-flor (2x5) esteve presente no grupo das maiores médias nos três ambientes. As variedades Branca (3), Beija-flor (5) e Viçosa (6) e o híbrido Beija-flor x Viçosa (5x6) estiveram presentes nos dois primeiros grupos nos três ambientes. A interação no agrupamento dos tratamentos nos três ambientes demonstra a natureza complexa da interação observada. Deve-se notar ainda, na Tabela 1, que os maiores valores da expansão foram obtidos em Viçosa 90/91.

É interessante comparar os valores da capacidade de expansão obtidos neste trabalho com aqueles de cultivares comerciais. Segundo Zinsly e Machado (1987), o valor mínimo da capacidade de expansão de uma variedade comercial deve ser 15. Já Gama et al. (1990) consideram bons os valores acima de 25. A média geral da capacidade de expansão neste trabalho foi 12,5, e o maior valor observado foi 19,0. Assim, a capacidade de expansão parece ser um fator limitante ao plantio comercial dos tratamentos aqui testados. Esta, entretanto, parece ser uma limitação comum aos cultivares brasileiros de milho pipoca, uma vez que a média do Ensaio Nacional de Milho Pipoca, no ano agrícola 91/92, foi 17,5, e o maior valor observado 20,8. Um bom cultivar de milho pipoca deve associar boa expansão e alta produção de grãos. Uma vez que a expansão parece ser o caráter mais limitante nos tratamentos aqui testados, maior atenção deve ser dada a ela.

Todos os tratamentos que se destacaram para capacidade de expansão, citados anteriormente, não o fizeram para peso de grãos, em que as melhores classificações são obtidas situaram-se no quinto grupo (Tabela 1). Por outro lado, os tratamentos mais produtivos, Amarela x Rosa-claro (1x4) e Roxa x Viçosa (2x6), não apresentaram boas expansões, embora Roxa x Viçosa (2x6) tenha apresentado capacidade de expansão consistentemente maior que Amarela x Rosa-claro (1x4). Assim, nenhum dos tratamentos foi superior para os caracteres produção de grãos e capacidade de expansão, simultaneamente.

A análise combinatória revelou que os quadrados médios referentes às capacidades geral e específica (C.G.C. e C.E.C) e os efeitos recíprocos (E.R.) foram significativos, em 1% de probabilidade, para todos os caracteres (Tabelas 2 e 3). Os quadrados

médios significativos, para ambas as capacidades combinatórias, indicam a existência de variabilidade entre os efeitos da C.G.C. (\hat{G}_i), associados a efeitos genéticos aditivos, e entre os efeitos da C.E.C. (\hat{S}_{ij}), associados a efeitos não-aditivos. A significância dos quadrados médios dos E.R. indica a existência de diferenças significativas entre os híbridos recíprocos.

Tabela 2. Quadrados médios das capacidades geral (C.G.C) e específica de combinação (C.E.C) e dos efeitos recíprocos (E.R.), segundo o método 1 de Griffing (1956), quadrados médios do erro e estimativas dos componentes quadráticos, para três caracteres em milho pipoca

F.V.	G.L.	Altura da Planta	Altura da Espiga	GL ⁺	Peso de Grãos
C.G.C.	5	1,236**	0,977**	5	1,780**
C.E.C.	15	0,136**	0,053**	15	1,251**
E.R.	15	0,086**	0,074**	15	0,355**
Erro	210	0,051	0,020	139	0,144
$\frac{1}{5} \sum \hat{G}_i^2$		0,011	0,009		0,023
$\frac{1}{15} \sum_{i \leq j} \hat{S}_{ij}^2$		0,010	0,004		0,192
$\frac{1}{15} \sum_{i < j} \hat{R}_{ij}^2$		0,002	0,003		0,021
$\hat{\sigma}_e^2$		0,051	0,020		0,144

+ Avaliados em Viçosa (90/91) e Visconde do Rio Branco (91/92); ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Tabela 3. Quadrados médios das capacidades geral e específica de combinação, dos efeitos recíprocos, e de suas interações com ambientes, segundo o método 1 de Griffing (1956), quadrado médio do erro e estimativas dos componentes quadráticos, para capacidade de expansão do milho pipoca

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio
C.G.C.	5	74,831**
C.E.C.	15	19,136**
E.R.	15	11,935**
C.G.C. x Ambientes	10	13,826**
C.E.C. x Ambientes	30	5,553**
E.R. x Ambientes	30	5,272**
Erro	210	3,954
$\frac{1}{5} \sum \hat{G}_i^2$		0,632
$\frac{1}{15} \sum_{i \leq j} \hat{S}_{ij}^2$		1,392
$\frac{1}{15} \sum_{i < j} \hat{R}_{ij}^2$		0,296
$\hat{\sigma}_e^2$		3,954

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

As estimativas dos componentes quadráticos devido aos efeitos de C.G.C. e de C.E.C. apresentaram magnitudes próximas para o caráter altura da planta (Tabela 2). Para a altura da espiga, a estimativa do componente quadrático, devido à C.G.C., foi maior do que aquele, devido à C.E.C.

Para peso de grãos e capacidade de expansão, as estimativas dos efeitos quadráticos associados à C.E.C. foram maiores. Isto sugere a existência de maior variabilidade para os efeitos da C.E.C. em relação aos efeitos da C.G.C., exceto para os caracteres altura da planta e da espiga.

Para o caráter ter capacidade de expansão, que apresentou significância do quadrado médio da interação dos tratamentos por ambientes, foi feito o desdobramento da soma de quadrados da interação dos tratamentos x ambientes em somas de quadrados de C.G.C. x ambientes, C.E.C. x ambientes e E.R. x ambientes (Tabela 3).

As estimativas dos efeitos de C.G.C. (\hat{G}_i) das variedades e o desvio-padrão da diferença entre as estimativas dos efeitos de duas variedades encontram-se na Tabela 4. Foi considerada a existência de diferença entre os efeitos de duas variedades quando a mesma superou em pelo menos duas vezes o desvio-padrão.

Tabela 4. Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (\hat{G}_i) e desvio-padrão (D.P.) da diferença entre duas variedades para quatro caracteres, em milho pipoca, segundo o método de Griffing (1956)

Variedades	AP (m)	AE (m)	PG		Capacidade de expansão	
			(kg/parcela)	Viçosa	Rio Branco	Viçosa
				90/91	91/92	91/92
Amarela	0,128	0,130	0,182	-0,810	-0,924	-1,490
Roxa	0,091	0,090	-0,037	-0,169	0,524	0,031
Branca	-0,117	-0,081	-0,069	1,054	-0,521	0,473
Rosa-claro	0,030	-0,016	0,118	-1,867	-0,515	-0,439
Beija-flor	-0,134	-0,116	-0,258	0,628	1,248	1,091
Viçosa	0,002	-0,006	0,063	1,164	0,188	0,334
D.P. ($\hat{G}_i - \hat{G}_j$)	0,031	0,020	0,065	0,530	0,457	0,502

AP=altura da planta; AE=altura da espiga; PG=peso de grãos

Baixo valor de \hat{G}_i indica que a média dos híbridos em que a variedade i participa não difere muito da média geral do dialélico. Alto valor, positivo ou negativo, indica que a variedade i é muito melhor ou pior que as demais variedades incluídas no dialélico, com relação à média de seus híbridos. Apresentará maior \hat{G}_i a variedade que possuir maiores frequências de alelos favoráveis (Cruz e Vencovsky, 1989).

Pode-se observar, na Tabela 4, que as amplitudes de variação dos \hat{G}_i 's, para os caracteres altura da planta e altura da espiga, foram de 8,45 e 12,30 vezes o desvio-padrão da diferença entre duas variedades, respectivamente, evidenciando a existência de diferenças marcantes entre os efeitos de C.G.C. das variedades. Para os dois caracteres, as variedades Amarela e Roxa apresentaram as maiores

estimativas positivas, e as variedades Beija-flor e Branca as maiores estimativas, em valor absoluto, negativas. As variedades Viçosa e Rosa-claro apresentaram efeitos de pequena magnitude.

As estimativas dos efeitos de C.G.C., para o caráter ter peso de grãos, apresentou amplitude de variação de 6,8. As variedades Amarela, Rosa-claro e Viçosa apresentaram \hat{G}_i 's positivos, enquanto as variedades Beija-flor, Branca e Roxa apresentaram \hat{G}_i 's negativos. Em relação à magnitude dos efeitos, Amarela e Rosa-claro apresentaram os maiores valores positivos e Beija-flor apresentou o maior valor negativo, em valor absoluto.

Uma vez que houve interação da C.G.C. com ambientes para capacidade de expansão (Tabela 3), os efeitos da capacidade geral de combinação das variedades genitoras foram estimados em cada ambiente separadamente (Tabela 4). As variedades Viçosa e Beija-flor apresentaram \hat{G}_i 's positivos nos três ambientes, enquanto as variedades Amarela e Rosa-claro apresentaram apenas efeitos negativos. As variedades Roxa e Branca apresentaram efeitos positivos e negativos, conforme o ambiente. As amplitudes de variação foram de 5,7, 4,8 e 5,1 vezes o desvio-padrão para Viçosa, 90/91, Visconde do Rio Branco, 91/92 e Viçosa, 91/92, respectivamente.

Para programas de melhoramento de milho pipoca interessa encontrar variedades que reúnam genes favoráveis a máximas produção e expansão. As variedades que apresentaram as maiores frequências de alelos favoráveis para produção, Amarela e Rosa-claro, foram também as que apresentaram as menores frequências de alelos favoráveis para expansão. Já a variedade Beija-flor, que se destacou para expansão, foi a pior em produção. A variedade Viçosa, por outro lado, também se destacou para capacidade de expansão e apresentou C.G.C. positiva para peso de grãos. Esta variedade pode, portanto, ser identificada como a mais promissora para ser usada em programas de melhoramento, seja em híbridos ou como fonte de linhagens.

O efeito S_{ij} refere-se à capacidade específica de combinação de uma variedade com ela mesma. Cruz e Vencovsky (1989) demonstraram que cada S_{ij} é um indicador do sentido dos desvios de dominância, sendo positivo quando estes diminuem o caráter e negativo em caso contrário. Informa, ainda, a respeito da divergência de frequências gênicas entre as variedades, sendo os

maiores valores de S_{ii} 's, em valor absoluto associados às variedades de maior divergência em relação às frequências genéticas médias no dialeto. Além disso, o somatório dos S_{ii} 's é função linear da heterose média.

Na Tabela 5, observa-se que os desvios da dominância atuaram no sentido de aumentar os valores de AP, AE e PG. O único valor positivo encontrado, referente à altura da espiga da variedade Roxa, foi de pequena magnitude, não sendo, portanto, relevante. Conseqüentemente, o somatório dos \hat{S}_{ii} 's indica a existência de heterose média, o que concorda com os resultados em que os quadrados médios de "Variedades versus F_{1s} " foram significativos para todos os caracteres.

Tabela 5. Estimativas dos efeitos de capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) e dos desvios-Padrão (D.P.) das diferenças entre efeitos de duas variedades e entre dois F_{1s} , com ou sem genitor comum, e desvio-padrão dos efeitos \hat{S}_{ii} , para quatro caracteres em milho pipoca, segundo o método de Griffing (1956)

Tratamentos	AP (m)	AE (m)	PG (kg/parcela)	Capacidade de expansão		
				Viçosa 90/91	Rio Branco	Viçosa 91/92
Amarela (1)	-0,093	-0,035	-0,364	-0,334	-0,833	0,796
Roxa (2)	-0,038	0,025	-0,446	-1,386	-3,260	-0,346
Branca (3)	-1,123	-0,083	-0,392	1,537	2,790	1,641
Rosa-claro (4)	-0,237	-0,133	-0,836	2,481	-0,452	0,164
Beija-flor (5)	-0,238	-0,133	-0,474	-0,179	1,053	-1,066
Viçosa (6)	-0,050	-0,023	-0,436	1,549	0,572	0,149
1x2	0,019	0,020	-0,230	-0,245	0,283	0,115
1x3	0,047	0,016	0,072	0,781	0,848	1,003
1x4	-0,010	-0,044	0,315	-0,112	0,922	0,130
1x5	0,059	0,061	0,126	-0,727	-0,440	-0,065
1x6	-0,022	-0,019	0,080	0,637	-0,781	-1,978
2x3	-0,066	-0,029	0,106	-0,459	0,050	-1,383
2x4	0,038	0,026	-0,051	-0,438	0,144	0,394
2x5	-0,013	-0,049	0,055	3,882	1,662	1,314
2x6	0,061	0,006	0,564	-1,354	1,121	-0,094
3x4	0,070	0,042	0,106	0,674	-0,496	-0,498
3x5	0,099	0,057	0,202	-1,956	-2,958	-1,013
3x6	-0,027	-0,003	0,094	-0,577	-0,234	0,250
4x5	0,098	0,067	0,335	-1,684	0,621	-0,516
4x6	0,042	0,042	0,129	-0,920	-0,740	0,326
5x6	-0,004	-0,003	-0,245	0,665	0,062	1,346
D.P. ($\hat{S}_{ii} - \hat{S}_{jj}$)	0,087	0,055	0,179	1,413	1,220	1,337
D.P. ($\hat{S}_{ij} - \hat{S}_{ik}$)	0,069	0,043	0,142	1,117	0,964	1,057
D.P. ($\hat{S}_{ij} - \hat{S}_{kl}$)	0,062	0,039	0,127	0,999	0,863	0,946
D.P. (\hat{S}_{ii})	0,045	0,029	0,093	0,736	0,635	0,696

AP=altura da planta; AE=altura da espiga; PG=peso de grãos

Para a altura da planta, a variedade Branca foi a que mais divergiu da média do dialeto. A variedade Rosa-claro diferenciou-se das demais para o caráter altura da espiga apresentou pequena variabilidade, não se destacando nenhuma variedade (Tabela 5).

Para a capacidade de expansão, estimaram-se os efeitos para cada ambiente isoladamente, uma vez que a interação C.E.C. x ambientes foi significativa (Tabela 3). As estimativas obtidas encontram-se na Tabela 5. Obtiveram-se valores positivos e negativos de \hat{S}_{ii} nos três ambientes, o que é uma evidência de existência de dominância bidirecional na determinação deste caráter. A variedade Roxa apresentou \hat{S}_{ii} negativo em todos os ambientes, embora só em Visconde do Rio Branco, 91/92, o efeito possa ser considerado significativo, indicando que seus genes que atuam no sentido de aumentar a expansão foram predominantemente dominantes nos híbridos em que participou. As variedades Branca e Viçosa, por outro lado, apresentaram sinais positivos em todos os ambientes, indicando que seus desvios de dominância atuam predominantemente no sentido de diminuir a expansão nos híbridos em que participam, sendo que a variedade Branca apresentou efeitos significativos nos três ambientes e a variedade Viçosa apresentou efeito significativo apenas em Viçosa, 90/91. As demais variedades apresentaram \hat{S}_{ii} 's positivos e negativos, conforme o ambiente.

Em relação aos valores absolutos das estimativas obtidas, os maiores referem-se às variedades Branca, Rosa-claro e Viçosa, em Viçosa, 90/91, Roxa e Branca, em Visconde do Rio Branco, 91/92, e Branca, em Viçosa, 91/92. Assim, a variedade Branca parece ser a mais divergente em relação à média do dialeto para capacidade de expansão.

Para caracteres com dominância unidirecional, o efeito da C.G.C. tem sido considerado como o melhor critério para a escolha de genitores (Cruz e Vencovsky, 1989). Para caracteres com dominância bidirecional, como a capacidade de expansão neste estudo, entretanto, o efeito \hat{S}_{ii} pode se constituir em um parâmetro auxiliar, uma vez que a C.G.C. está associada, predominantemente, os efeitos genéticos aditivos, enquanto o efeito \hat{S}_{ii} informa sobre o sentido dos desvios da dominância. Assim, a variedade Roxa, embora não tenha se destacado em relação à C.G.C., pode ser considerada como uma boa opção para formação de híbridos, já que apresentou os efeitos \hat{S}_{ii} 's mais favoráveis para capacidade de expansão.

O efeito da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) é interpretado como sendo o desvio de um híbrido em relação ao que seria

esperado com base nas capacidades gerais de combinação de seus variedades genitoras. Os maiores valores são para as variedades mais divergentes nas frequências dos genes com dominância, embora sejam também influenciados pela frequência genética média do dialeto (Vencovsky, 1970). Em relação aos caracteres altura da planta e altura da espiga, verificou-se pequenas amplitudes de variação, de 2,4 e 2,7 vezes os desvios-padrão, respectivamente, não se destacando nenhum híbrido. Para peso de grãos, a amplitude de variação foi de 5,7 vezes o desvio-padrão. A maior estimativa foi do híbrido Roxa x Viçosa, que não diferiu de Rosa-claro x Beija-flor. Para capacidade de expansão, o híbrido Roxa x Beija-flor apresentou o maior \hat{S}_{ij} nos três ambientes. As amplitudes de variação foram de 5,2, 4,8 e 3,5 vezes o desvio-padrão para os ambientes Viçosa, 90/91, Visconde do Rio Branco, 91,92 e Viçosa, 91/92, respectivamente (Tabela 5).

Nas análises dialélicas, deve-se escolher o híbrido de maior capacidade específica de combinação, no qual uma das variedades genitoras apresenta a maior capacidade geral de combinação. Este híbrido resulta do cruzamento entre a variedade selecionada com base na C.G.C. e aquela cuja frequência de alelos favoráveis é superior à frequência média e que apresenta considerável divergência em relação à variedade com a qual está sendo cruzada (Cruz e Vencovsky, 1989).

As variedades Amarela e Rosa-claro foram as que apresentaram maiores \hat{G}_i 's para produção de grãos (Tabela 4). Dos híbridos envolvendo a variedade Amarela, o híbrido Amarela x Rosa-claro foi o de maior \hat{S}_{ij} (Tabela 5). Dos híbridos envolvendo a variedade Rosa-claro, o maior \hat{S}_{ij} foi apresentado por Rosa-claro x Beija-flor. Assim, o melhor híbrido, considerando-se apenas produção de grãos, é Amarela x Rosa-claro, pois reúne as variedades de mais alta C.G.C. e ainda apresenta efeito positivo de C.E.C. Este híbrido foi o que apresentou maior peso de grãos, sendo agrupado junto com Roxa x Viçosa (Tabela 1).

Para capacidade de expansão, as variedades que mais se destacaram, com base na C.G.C. foram Beija-flor e Viçosa (Tabela 4). Dos híbridos envolvendo a variedade Beija-flor, o maior \hat{S}_{ij} refere-se a Roxa x Beija-flor, enquanto Beija-flor x Viçosa destacou-se entre os híbridos envolvendo Viçosa. O híbrido Beija-flor x Viçosa deve ser

considerado o mais desejável por reunir as duas variedades de maiores efeitos de C.G.C. Quando da análise das médias, estes dois híbridos foram incluídos entre os de maiores expansões (Tabela 1).

A dificuldade em se reunir alta produtividade e boa capacidade de expansão em um mesmo híbrido ficou mais uma vez evidenciada, pois o híbrido Amarela x Rosa-claro, mais desejável do ponto de vista da produção, encontra-se entre os piores para expansão, e o híbrido Beija-flor x Viçosa, mais desejável do ponto de vista da expansão, encontra-se entre os piores para produção de grãos (Tabela 1).

Embora neste trabalho não tenha sido possível identificar um híbrido que reunisse alto peso de grãos e boa capacidade de expansão, algumas estratégias para a obtenção deste tipo de material podem ser analisadas.

Neste aspecto, por exemplo, a variedade Viçosa destacou-se quando se consideraram simultaneamente estes dois caracteres. Dos híbridos envolvendo esta variedade, o híbrido Roxa x Viçosa apresentou o maior \hat{S}_{ij} para peso de grãos, e Beija-flor x Viçosa foi o único a apresentar \hat{S}_{ij} 's positivos para capacidade de expansão nos três ambientes. Observou-se que Beija-flor x Viçosa mostrou-se indesejável para produção de grãos. Roxa e Viçosa, por outro lado, foi um dos híbridos mais produtivos e reúne as duas variedades de C.G.C. favoráveis para expansão. Assim, as variedades Roxa e Viçosa podem ser recomendadas para se iniciar um programa de seleção recorrente-recíproca, visando à obtenção de híbridos de elevadas produção de grãos e capacidade de expansão. Neste programa, atenção especial deve ser dada à capacidade de expansão, que parece ser a característica mais limitante.

Uma outra alternativa seria obter híbridos entre variedades de alta C.G.C. para produção e variedades de alta C.G.C. para expansão. Os híbridos Amarela x Beija-flor, Amarela x Viçosa, Rosa-claro x Beija-flor e Rosa-claro x Viçosa, preenchem estes requisitos. Todos estes híbridos apresentaram C.E.C. positiva para peso de grãos e negativa para capacidade de expansão. Rosa-claro x Beija-flor foi o híbrido de maior C.E.C. para peso de grãos, devendo-se, assim, recomendar as variedades Rosa-claro e Beija-flor para se iniciar um programa de seleção recorrente-recíproca, em que maior atenção deve ser dada à capacidade de expansão.

Uma estratégia para se obter variedades de milho pipoca de alta produtividade e boa capacidade de expansão, seria a síntese de compostos para programas de melhoramento intrapopulacional. A escolha das variedades para a formação destes compostos deve basear-se na C.G.C., que depende de efeitos aditivos. Assim, recomendam-se compostos formados entre as variedades de alta C.G.C. para peso de grãos, Amarela e Rosa-claro, e as variedades de alta C.G.C. para capacidade de expansão, Beija-flor e Viçosa.

O efeito R_{ij} refere-se à diferença entre o híbrido X_{ij} , em que i entra como variedade feminino e j como variedade masculino, e o híbrido X_{ji} em que j entra como variedade feminino e i como variedade masculino. Os híbridos que apresentaram R_{ij} significativos pelo teste t , a 1% de probabilidade, foram: Amarela x Branca, para peso de grãos, Amarela x Beija-flor, para altura da espiga e peso de grãos, Roxa x Branca, para altura da espiga, Roxa x Beija-flor, para altura da planta, altura da espiga, peso de grãos e capacidade de expansão, em Viçosa, 90/91, Branca x Beija-flor, para capacidade de expansão em Visconde do Rio Branco, 91/92, e Beija-flor x Viçosa, para capacidade de expansão em Viçosa, 91/92 (Tabela 6).

Tabela 6. Estimativas de efeitos recíprocos e de seus desvios-padrão (D.P.), para quatro caracteres de milho pipoca

Híbridos ¹	AP (m)	AE (m)	PG (kg/parcela)	Capacidade de expansão (CE)		
				Viçosa 90/91	Rio Branco 91/92	Viçosa 91/92
1x2	-0,045	-0,055	-0,015	1,170	1,335	0,600
1x3	0,025	0,050	0,305**	-1,520	-0,285	-0,400
1x4	0,035	0,035	-0,105	-0,365	0,165	0,715
1x5	0,110	0,120**	0,280**	-1,485	0,135	-1,280
1x6	0,075	0,070	-0,065	0,915	0,165	1,150
2x3	0,135	0,095**	0,010	-0,880	-0,135	0,835
2x4	0,025	0,025	-0,090	0,380	1,165	0,370
2x5	0,160**	0,150**	0,430**	-3,265**	-1,315	-1,280
2x6	-0,010	-0,025	-0,030	-0,865	-0,615	-1,115
3x4	-0,020	-0,040	-0,065	-0,615	-0,280	-0,380
3x5	-0,005	-0,005	0,165	-1,450	3,120**	0,835
3x6	0,045	-0,015	0,140	1,035	0,015	1,200
4x5	0,020	0,030	0,055	-0,970	0,065	-0,120
4x6	0,000	-0,005	-0,090	0,270	-0,185	-0,165
5x6	0,050	0,020	0,020	-0,550	-0,050	2,615**
D.P.	0,053	0,033	0,110	0,865	0,747	0,819

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t ; ¹ 1=Amarela; 2=Roxa; 3=Branca; 4=Rosa-claro; 5=Beija-flor; 6=Viçosa; AP=altura da planta; AE=altura da espiga; PG= peso de grãos

Apesar de haver evidência de efeitos recíprocos para todos os caracteres, verificou-se pouca importância dos mesmos, uma vez que, dos 15 híbridos envolvidos, apenas três apresentaram efeitos significativos para altura da espiga e peso de grãos e um apresentou significância para altura da

planta. Para a capacidade de expansão, apenas um dos híbridos apresentou significância em cada ambiente (Tabela 6).

Referências

- CRUZ, C.D. *Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas*. 1990. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- CRUZ, C.D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. *Rev. Bras. Gen., Ribeirão Preto*, n.12, p.425-438, 1989.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- GALVÃO, J.C.C. et al. Comportamento de híbridos de milho-pipoca em Coimbra, Minas Gerais. *Revista Ceres, Viçosa*, n.47, n.270, p.201-218, 2000.
- GAMA, E.E.G. et al. Milho pipoca. *Inf. AgropecU.*, Belo Horizonte, n.14, p.12-16, 1990.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.*, East Melbourne, n.9, p.463-493, 1956.
- LARISH, L.L.B.; BREWBAKER, J.L. Diallel analyses of temperate and tropical popcorns. *Maydica*, Bergamo, n.44, p. 279-284, 1999.
- SAWAZAKI, E. et al. Estudo da capacidade de expansão em cruzamentos dialélicos entre variedades de milho pipoca. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15., 1984, Maceió. *Anais...Brasília: Embrapa-DDT*, 1986. p.157-160.
- SAWAZAKI, E. et al. Potencial de linhagens locais de milho-pipoca para síntese de híbridos. *Bragantia*, Campinas, v.59, n.2, p.143-151, 2000.
- SCAPIM, C. A. et al. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação na cultura do milho. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.30, n.5, p.683-686, 1995.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis methods for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, DC, n.30, p.507-512, 1974.
- VENCOSKY, R. *Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamento dialélicos de variedades*. 1970. Tese (Livre-Docente) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.
- ZANETTE, V.A. Análise da variabilidade genética em populaçãoes de milho pipoca (*Zea mays* L.) I. Heterose da capacidade de expansão do grão. *Agrônomo mica Sulriograndense*, Porto Alegre, n.25, p.173-181, 1989.
- ZINSLY, J.R., MACHADO, J.A. Milho pipoca. In: Paterniani, E. (Ed.). *Melhoramento e produção do milho*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.413-421.

Received on April 15, 2002.

Accepted on July 29, 2002.