

ANÁLISE DIALÉLICA PARCIAL DE LINHAGENS DE MILHO-PIPOCA

RONALD JOSÉ BARTH PINTO¹, MARCUS VINÍCIUS KVITSCHAL², CARLOS ALBERTO SCAPIM¹, MARCELO FRACARO³, LUCAS SOUTO BIGNOTTO³ e ISRAEL LEITE DE SOUZA NETO³

¹Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: cascachim@uem.br (autor para correspondência).

²Doutorando do curso de Genética e Melhoramento da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Bolsista da CAPES.

³Estudantes de Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), bolsistas de iniciação científica do CNPq

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.6, n.3, p. 325-337, 2007

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade geral de combinação (CGC) das linhagens parentais e a capacidade específica de combinação (CEC) das combinações híbridas de dois grupos de seis linhagens S5 de milho-pipoca, grupos I e II, extraídos a partir dos compostos UEM-C3 e UEM-C4, intercruzados em esquema dialélico parcial. A análise de Griffing foi utilizada na estimação da CGC e CEC, baseando-se no desempenho dos híbridos F1, considerando as características rendimento de grãos e capacidade de expansão. Foram avaliados trinta e seis híbridos simples e uma testemunha comercial, IAC 112, em blocos completos, casualizados, com três repetições, durante o ano agrícola de 2005/2006, nos municípios de Maringá e Cidade Gaúcha, localizados na região noroeste do Paraná. A análise dialélica parcial mostrou-se eficiente no estudo dos efeitos da CGC das linhagens endogâmicas de milho-pipoca e dos efeitos da CEC estimados em híbridos obtidos do cruzamento entre linhagens de grupos diferentes. As linhagens D, E' e C' podem ser utilizadas na formação de novas populações. As combinações híbridas D x E', E x A', F x A' e C x B' foram as mais promissoras.

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

PARTIAL DIALLELIC ANALYSIS OF POPCORN INBRED LINES

ABSTRACT – The present work had the objective to estimate general combining ability of parent lines and specific combining ability of hybrid combinations of two groups of six S₅ popcorns inbred lines, groups I and II, originated from UEM-C3 and UEM-C4 populations, intercrossed on partial diallelic design. The Griffing's diallel was applied to estimate general combining ability and specific combining ability, based on phenotypic performance of F1 hybrids for grain yield and popping. The 36 hybrids and the control (IAC-112) were evaluated in a randomized complete block design, with three replications, during 2005/2006 agricultural year, in Maringá and Cidade Gaúcha counties, located on Northwestern of Paraná State. The partial diallelic design was efficient for evaluating general combining ability of popcorn inbred lines and specific combining ability of hybrids from intercrossing among different groups of inbred lines. The inbred lines D, E' e C' can be used to make new base-populations. The hybrid combinations D x E', E x A', F x A' e C x B' were the most promising ones.

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

A capacidade de expansão constitui a diferença básica entre o milho-pipoca e os milhos comuns, visto que ambos pertencem à mesma espécie (*Zea mays* L.). A característica de expansão dos grãos pode ser explicada pela resistência do pericarpo à expansão do óleo e à umidade presentes no grão. Quando os grãos são submetidos à temperatura apropriada, o óleo e a água presentes no grão pressionam o pericarpo até ele se romper e, assim, expõe o endosperma (Zinsly & Machado, 1987).

Em todas as regiões produtoras de milho, no Brasil, há ampla disponibilidade de híbridos de linhagens de milho para comercialização, principalmente de milho duro, que é o principal componente das rações nos rebanhos brasileiros. Na safra agrícola de 2005/06, Cruz & Pereira Filho (2006) estimam que foram disponibilizadas 237 cultivares de milho, sendo apenas nove cultivares pertencentes a grupos denominados milhos especiais, tais como milho-pipoca, milho doce, milho ceroso ou milho especial para canjica. Dessas nove cultivares, três são híbridos de milho-pipoca, Zélia: híbrido triplo; Jade, híbrido triplo; IAC 112, híbrido simples modificado, e três são variedades de polinização aberta (RS-20, BRS Ângela e UFVM2-Barão-Viçosa). Entretanto, mesmo com a evolução das pesquisas e com o desenvolvimento recente de novas cultivares de milho-pipoca, sejam variedades ou híbridos, os esforços ainda não são suficientes para atender à crescente demanda do mercado por esse segmento (Matta & Viana, 2001; Andrade et al., 2002).

Uma das formas para atender à demanda de sementes de milho-pipoca é a criação de programas de melhoramento genético visando ao desenvolvimento de híbridos de linhagens endogâmicas, permitindo a exploração da heterose para rendimento de grãos resultante da hibridação entre as linhagens, de forma semelhante aos programas de melhoramento de milho comum. Entretanto, o milho-pipoca apre-

senta algumas dificuldades em relação ao milho comum, como a existência de correlação genética negativa entre o rendimento e a capacidade de expansão, as baixas estimativas de heterose, ou até negativas, para capacidade de expansão (Andrade et al., 2002) e a maior depressão endogâmica decorrente das sucessivas autofecundações (Zinsly & Machado, 1987). Diante disso, as linhagens devem ser selecionadas desde S1 para capacidade de expansão. Paralelamente, o melhorista deve avaliar o material utilizando repetições e análises estatísticas, antes de prosseguir no processo de incrementar a homozigose das progênies. Os índices de seleção podem ser ferramenta estatística fundamental nessa etapa (Vilarinho et al., 2003).

Os relatos sobre a avaliação de linhagens de milho-pipoca preconizando o desenvolvimento de híbridos mais produtivos e detentores de elevada capacidade de expansão são bastante escassos (Larish & Brewbaker, 1999; Vilarinho et al., 2002; Vilarinho et al., 2003; Santos et al., 2004). Sawazaki et al. (2000) e Galvão et al. (2000) obtiveram bons resultados de produtividade e capacidade de expansão em seus híbridos de linhagens extraídas das populações Guarani e IAC-64, em São Paulo e na Zona da Mata de Minas Gerais, respectivamente. Os autores observaram capacidade de expansão média variando entre 32 e 36 mL g⁻¹ e um rendimento de grãos acima de 4.000 kg ha⁻¹.

As análises dialélicas também são ferramentas bastante úteis para caracterizar a capacidade combinatória, seja ela geral ou específica. No Brasil, há vários relatos de análises dialélicas em milho comum (Silva et al., 2001; Araújo & Miranda Filho, 2001; Silva & Miranda Filho, 2003; Kvitschal et al., 2004), mas são poucos os trabalhos relacionados ao milho-pipoca (Larish & Brewbaker, 1999; Andrade et al., 2002; Viana & Matta, 2003; Freitas Júnior et al., 2006).

Larish & Brewbaker (1999) analisaram dois dialelos, um de seis variedades de milho-pipoca, quatro das áreas tropicais e duas americanas, e outro de cinco linhagens americanas, para as características rendimento de grãos e capacidade de expansão nos trópicos. Os autores observaram efeito heterótico apenas para rendimento de grãos, uma vez que a capacidade de expansão é negativamente correlacionada com a produção de grãos em milho-pipoca. A razão entre a capacidade geral de combinação e a capacidade específica de combinação foi alta para todas as características, sendo, portanto, indicador da possibilidade de ganhos rápidos por seleção. Ambos os dialelos possibilitaram afirmar que os melhoristas das áreas tropicais deveriam trabalhar com dois grupos heteróticos formados pelas variedades Supergold e Jap Hulless e três grupos heteróticos formados pelas linhagens 128 (Yellow Pearl), KP58K (South America) e R18-1-9 (Supergold).

Vilarinho et al. (2002; 2003) avaliaram 100 progênies S_1 e 225 progênies S_2 obtidas da população de milho-pipoca Beija-Flor, para produção e capacidade de expansão. Os autores identificaram variabilidade genotípica significativa para ambas as características. Os índices de seleção foram eficientes na identificação de famílias que proporcionaram ganhos preditos simultâneos de produção de grãos e de capacidade de expansão, apesar da correlação genotípica negativa observada entre os caracteres.

A Universidade Estadual de Maringá vem desenvolvendo linhagens endogâmicas de milho-pipoca, com o intuito de desenvolver híbridos adaptados à região noroeste do Paraná. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de cruzamentos dialélicos, a capacidade geral de combinação de doze linhagens e a capacidade específica das combinações híbridas.

Material e Métodos

Os cruzamentos foram realizados na Fazenda Experimental de Iguatemi (UEM), localizada no município de Maringá-PR, no ano agrícola de 2004-2005-safrinha, em esquema dialélico parcial, envolvendo dois grupos de seis linhagens S_5 de milho-pipoca (grupos I e II), extraídas a partir dos compostos UEM-C3 e UEM-C4, respectivamente. O composto UEM-C3 foi originado pelo intercruzamento dos híbridos comerciais do mercado: IAC 112 e Zélia e das variedades UFV-Amarelo e SC-002 (UEM). O composto UEM-C4 foi originado pelo intercruzamento de populações da raça Avati Pichinga, gentilmente cedidas pelo Instituto de Pesquisas Agrícolas do Paraguai. As linhagens do grupo I foram denominadas A, B, C, D, E e F. As linhagens do grupo II foram denominadas A', B', C', D', E' e F'.

Para a obtenção dos híbridos, as linhagens foram semeadas em duas linhas de 5,0m de comprimento, distanciadas 0,9m entre si. Por ocasião do florescimento, foram realizadas polinizações manuais entre cada linhagem do Grupo I com todas as linhagens do Grupo II, perfazendo um total de 36 combinações entre as seis linhagens de cada grupo. Para cada combinação híbrida, foram polinizadas 30 espigas e colhidas 10 a 15 espigas, a fim de garantir a produção de sementes em quantidade suficiente para a semeadura dos experimentos de avaliação dos híbridos.

A avaliação dos híbridos simples foi realizada em experimentos instalados nos municípios de Maringá (Fazenda Experimental de Iguatemi – UEM-PR) e Cidade Gaúcha (Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá, Campus do Arenito), ambos os municípios situados na região noroeste do Estado do Paraná, que apresenta clima mesotérmico úmido, com chuvas de verão e de outono, e verão quente (Godoy et al., 1976). O

Latossolo Vermelho distrófico representa a unidade de solo predominante nas áreas experimentais (SISTEMA, 1999).

Ambos os experimentos foram instalados em blocos completos, casualizados, com três repetições, durante o ano agrícola de 2005/2006. Os 36 híbridos e a testemunha utilizada, IAC-112, constituíram os 37 tratamentos. Cada parcela foi representada por uma fileira de 5m de comprimento, com espaçamento de 0,9m entre fileiras. A semeadura foi realizada em covas espaçadas de 0,2m, semeando-se duas sementes por cova e deixando-se apenas uma plântula após o desbaste. O desbaste foi realizado entre 20 e 25 dias após a emergência das plântulas. A adubação de base foi realizada com a aplicação de 400 kg ha⁻¹ do adubo formulado 4-14-8 + Zn, sendo aplicada uma dose de 150 kg ha⁻¹ de uréia em adubação de cobertura, 30 dias após a emergência. Os tratos culturais aplicados seguiram as práticas comumente adotadas na cultura, em ambos os experimentos.

Por ocasião da colheita, o rendimento de grãos foi avaliado mediante a pesagem da massa de grãos debulhados de cada parcela, seguida pela conversão do rendimento a t ha⁻¹, ajuste da massa para a umidade padrão de 13% e correção de estande para um padrão de 25 plantas por parcela, mediante a técnica de análise de covariância indicada por Vencovsky & Barriga (1992).

A capacidade de expansão foi mensurada em laboratório pelo cálculo da razão entre o volume da pipoca expandida e a massa de grãos crus. Foram tomados os dados obtidos de duas amostras de 30g de grãos por parcela. Cada amostra foi estourada em uma pipoqueira elétrica, com controle automático de temperatura, desenvolvida pelo Centro Nacional de Instrumentação Agrícola (SISTEMA, São Carlos, SP). A umidade do estouro foi de 13%. As amostras foram submetidas a uma temperatura constante de 280°C, por um período de dois

minutos. O volume de pipoca expandida foi medido em proveta graduada de 2.000mL.

Os dados de rendimento de grãos e de capacidade de expansão foram submetidos às análises de variância individuais e conjunta (Cruz & Regazzi, 2001). As médias foram comparadas pelo teste de agrupamento de médias proposto por Scott & Knott (1974), considerando um nível de 5% de probabilidade. Com base nos resultados das análises de variância, foi realizada a decomposição das somas de quadrados dos tratamentos em capacidade geral e específica de combinação. Para essa decomposição, foi adotado o modelo de Griffing (1956) adaptado aos dialelos parciais, sem a inclusão dos parentais, utilizando o pacote computacional Genes (Cruz, 2001).

Resultados e Discussão

A análise de variância individual aplicada aos dados de rendimento de grãos (t ha⁻¹) e de capacidade de expansão (mL g⁻¹), nos dois locais, revelou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, deixando evidente a presença de variabilidade genética. A análise de variância conjunta (Tabela 1) conteve diferença significativa da interação genótipos e locais para ambas as características avaliadas, indicando a necessidade de desdobramento das análises. Os efeitos significativos da interação entre híbridos simples e locais são freqüentemente verificados, uma vez que a estreita base genética desses híbridos permite resposta mais diferenciada frente aos locais de avaliação do que no caso de híbridos duplos ou cultivares de base genética mais ampla (Troyer, 1996). Além disso, pôde-se verificar que os coeficientes de variação estimados nas análises foram satisfatórios para rendimento de grãos e para a capacidade de expansão, 11,6% e 3,1%, respectivamente, de acordo com a classificação proposta por Scapim *et al.* (1995).

Na Tabela 1, observa-se diferença significativa ($p=0,05$) no efeito da CGC apenas dentro do conjunto de linhagens do grupo I, para rendimento de grãos, enquanto, para capacidade de expansão, essa diferença foi verificada apenas dentro do conjunto de linhagens do grupo II. A magnitude dos quadrados médios para CGC indica a predo-

minância de efeitos aditivos mais elevados no conjunto genotípico do grupo I.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que a CGC e a CEC apresentaram efeitos significativos ($p=0,05$), indicando que, além da aditividade, a presença de ação gênica não-aditiva foi significativa entre os loci relacionados ao

TABELA 1. Resumo de análise de variância conjunta do dialelo para rendimento de grãos ($t\ ha^{-1}$) e capacidade de expansão ($mL\ g^{-1}$).

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	
		Rendimento de Grãos ($t\ ha^{-1}$)	Capacidade de Expansão ($mL\ g^{-1}$)
Cruzamentos	35	4,33 *	4,78 *
CGC I	5	20,60 *	7,95 ^{ns}
CGC II	5	1,08 ^{ns}	2,17 *
CEC	25	1,73 *	4,67 *
Locais	1	7,61 *	2,60 ^{ns}
Cruzamentos x Locais	35	0,40 *	1,83 *
CGC I x Local	5	1,56 *	5,11 *
CGC II x Local	5	0,24 ^{ns}	0,30 ^{ns}
CEC x Local	25	0,20 *	1,48 *
Resíduo médio (combinado)	144	0,10	0,77
Média Geral		2,73	28,20
Coeficiente de variação (%)		11,60	3,10

* – Significativo ($P<0,05$) pelo teste F; ^{ns} – Não significativo.

rendimento de grãos e à capacidade de expansão das linhagens, uma vez que a CEC não acusa significância na ausência de dominância (Vencovsky & Barriga, 1992). Além disso, o efeito significativo da CEC também evidenciou diferentes graus de complementação entre as linhagens de ambos os grupos, indicando que determinadas combinações híbridas apresentaram um desempenho fenotípico diferente do esperado somente com base nos efeitos da CGC.

A análise dialélica conjunta também revelou a existência de diferenças significativas para o efeito da interação entre CGC I x Locais e CEC x Locais. Esse resultado sugere a presença de interação complexa entre híbridos e locais, para ambas as características. Por outro lado, a interação significativa ($p=0,05$) entre CEC x locais permite inferir uma resposta diferenciada das combinações híbridas frente às variações ambientais. Essas interações são relatadas na literatura por diversos autores (Rojas & Sprague, 1952; Matzinger *et al.*, 1959; Pixley & Bjarnason, 1993; Nass *et al.*, 2000; Locatelli *et al.*, 2002).

Na Tabela 2, estão apresentados resultados do desdobramento da análise de comparação de médias, pelo teste de Scott & Knott (1974), para rendimento de grãos e para capacidade de expansão. As combinações D x E' (3,93 t ha⁻¹), F x C' (3,73 t ha⁻¹), B x F' (3,54 t ha⁻¹), C x B' (3,53 t ha⁻¹) e D x C' (3,40 t ha⁻¹) foram as que se destacaram para rendimento de grãos. Para a capacidade de expansão, as combinações que se destacaram foram A x F' (30,72 mL g⁻¹), B x C' (30,83 mL g⁻¹) e B x D' (30,47 mL g⁻¹). No entanto, nenhuma das combinações híbridas apresentou média equivalente ou superior à testemunha IAC 112 nos dois locais. Fica evidente a dificuldade de se obter elevado rendimento de grãos e alta capacidade de expansão na mesma cultivar, em função da correlação genéti-

ca negativa que freqüentemente se observa entre essas características (Zinsly & Machado, 1987).

Na Tabela 3, estão apresentadas as estimativas do parâmetro g_i (CGC) para as linhagens dos grupos I e II, em relação ao rendimento de grãos e à capacidade de expansão. Para rendimento de grãos, as linhagens C e D do grupo I e as linhagens B' e E' do grupo II foram as que mais se destacaram. Seus valores relativamente elevados de g_i , em ambos os locais de avaliação, indicam que tais linhagens apresentam maior freqüência de alelos favoráveis para o caráter (Vencovsky & Barriga, 1992).

Embora as linhagens E (0,62) e F (0,78) do grupo I tenham apresentado elevados valores de g_i , em Maringá, as estimativas obtidas em Cidade Gaúcha, (0,112 e 0,274, respectivamente), embora positivas, tiveram menor magnitude do que em Maringá. Essa variação nas estimativas de g_i entre os dois locais de avaliação, permite supor que os híbridos formados pelo intercruzamento dessas linhagens sofrem um efeito mais pronunciado da interação entre híbridos e locais. No entanto, o fato de tais linhagens apresentarem uma elevada CGC, na média de ambos os locais, sugere que as mesmas apresentam elevada freqüência de alelos favoráveis para rendimento de grãos. Dessa forma, as linhagens E e F do grupo I podem ser utilizadas de duas formas: 1) em intercruzamentos com linhagens de grupos heteróticos diferentes, com o intuito de formar novas populações com maior concentração de alelos favoráveis, podendo, assim, proporcionar a obtenção de novas linhagens superiores às atuais (Cruz & Regazzi, 2001); 2), como testadores na avaliação da CEC com outros grupos de linhagens.

Com relação à capacidade de expansão, pode-se observar, na Tabela 3, que apenas as linhagens A (grupo I) e C' (grupo II) mostraram estima-

TABELA 2. Valores médios para rendimento de grãos e capacidade de expansão dos híbridos F₁ e da testemunha (IAC 112), em Maringá-PR e Cidade Gaúcha-PR.

Tratamentos	Rendimento de Grãos (t ha ⁻¹)			Capacidade de Expansão (mL g ⁻¹)		
	Maringá	Cidade Gaúcha	Média	Maringá	Cidade Gaúcha	Média
1. A x A'	1,87 d	1,60 c	1,74	28,30 c	27,60d	27,90
2. A x B'	1,42 d	1,16 c	1,29	28,00 d	29,00 c	28,50
3. A x C'	1,12 d	1,45 c	1,28	30,30 b	27,60 d	29,00
4. A x D'	1,16 d	1,54 c	1,35	27,00 d	27,60 d	27,30
5. A x E'	1,19 d	1,27 c	1,23	29,00 c	28,90 c	28,90
6. A x F'	1,13 d	1,37 c	1,25	31,30 b	30,10 c	30,70
7. B x A'	1,51 d	1,59 c	1,55	26,60 d	27,70 d	27,10
8. B x B'	3,21 b	3,15 a	3,18	27,70 d	29,70 c	28,70
9. B x C'	1,15 d	1,22 c	1,19	29,30c	32,30 b	30,80
10. B x D'	1,40 d	1,16 c	1,28	29,60 c	31,60 b	30,40
11. B x E'	3,84 a	2,90 b	3,37	28,40 c	28,30 c	28,40
12. B x F'	3,47 a	3,61 a	3,54	27,00 d	27,60 d	27,30
13. C x A'	3,10 b	3,31 a	3,21	27,50 d	27,90 d	27,70
14. C x B'	3,66 a	3,40 a	3,53	27,40 d	28,50 c	27,90
15. C x C'	4,21 a	2,94 b	3,58	27,50 d	27,70 d	27,60
16. C x D'	3,01 c	2,77 b	2,89	27,20 d	28,20 d	27,70
17. C x E'	2,71 c	2,88 b	2,79	27,20 d	27,50 d	27,40
18. C x F'	2,68 c	3,21 a	2,95	27,30 d	27,80 d	27,60
19. D x A'	3,01 c	2,52 b	2,76	28,10 c	27,30 d	27,70
20. D x B'	3,26 b	3,19 a	3,23	29,30 c	27,00 d	28,20
21. D x C'	3,73 a	3,08 a	3,41	28,40 c	28,70 c	28,50
22. D x D'	3,36 b	2,79 b	3,08	28,80 c	27,60 d	28,20
23. D x E'	4,03 a	3,83 a	3,93	28,40 c	29,40 c	28,90
24. D x F'	2,81 c	2,77 b	2,79	27,90 d	28,40 c	28,20
25. E x A'	3,79 a	2,77 b	3,28	28,40 c	28,60 c	28,50
26. E x B'	3,73 a	2,72 b	3,22	27,70 d	28,10 d	27,90
27. E x C'	3,60 a	2,69 b	3,15	27,90 d	27,40 d	27,60
28. E x D'	3,40 b	2,57 b	2,98	27,80 d	27,80 d	27,80
29. E x E'	3,31 b	2,25 b	2,78	28,10 c	27,60 d	27,90
30. E x F'	3,41 b	2,94 b	3,18	27,10 d	27,40 d	27,20
31. F x A'	3,82 a	2,60 b	3,21	28,40 c	28,60 c	28,50
32. F x B'	3,16 b	3,06 a	3,11	27,20 d	27,50 d	27,30
33. F x C'	4,31 a	3,16 a	3,74	27,90 d	28,50 c	28,20
34. F x D'	3,52 a	2,77 b	3,14	28,30 c	28,20 d	28,20
35. F x E'	3,59 a	2,57 b	3,08	28,50 c	28,00 d	28,20
36. F x F'	3,82 a	2,76 b	3,29	27,40 d	27,80 d	27,60
37. IAC 112	3,90 a	3,46 a	3,68	34,00 a	34,60 a	34,30
Média dos F ₁	2,92	2,54	2,73	28,10	28,30	28,20
C.V.(%)	10,70	12,30	11,40	3,10	3,00	3,05

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si (P>0,05) pelo teste de Scott e Knott (1974).

TABELA 3. Estimativas dos efeitos de Capacidade Geral de Combinação, para rendimento de grãos e capacidade de expansão, em Maringá-PR e Cidade Gaúcha-PR.

Genitor	Rendimento de Grãos (t ha ⁻¹)			Capacidade de Expansão (mL g ⁻¹)		
	Maringá	Cidade Gaúcha	Média	Maringá	Cidade Gaúcha	Média
A	-1,60	-1,14	-1,37	0,86	0,14	0,50
B	-0,55	-0,27	-0,41	-0,08	1,23	0,57
C	0,30	0,54	0,42	-0,76	-0,40	-0,58
D	0,43	0,48	0,46	0,38	-0,25	0,06
E	0,62	0,11	0,36	-0,25	-0,48	-0,36
F	0,78	0,27	0,52	-0,15	-0,23	-0,19
<i>DP</i> \hat{g}_i	0,06	0,07	-	0,20	0,16	-
<i>DP</i> $\hat{g}_i \hat{g}_i'$	0,09	0,11	-	0,32	0,26	-
A'	-0,06	-0,14	-0,10	-0,23	-0,36	-0,30
B'	0,15	0,23	0,19	-0,23	-0,03	-0,13
C'	0,10	-0,12	-0,01	0,45	0,36	0,40
D'	-0,29	-0,27	-0,28	-0,05	0,21	0,08
E'	0,13	0,07	0,10	0,16	-0,01	0,04
F'	-0,03	0,23	0,10	-0,10	-0,15	-0,12
<i>DP</i> \hat{g}_j	0,06	0,07	-	0,20	0,16	-
<i>DP</i> $\hat{g}_j \hat{g}_j'$	0,09	0,11	-	0,32	0,26	-

DP = Desvio-padrão

tivas positivas de g_i , em ambos os locais de avaliação, indicando maior frequência de alelos favoráveis para capacidade de expansão, em relação às demais linhagens avaliadas. É importante, também, ressaltar que as linhagens B e D do grupo I e as linhagens D' e E' do grupo II apresentaram estimativas positivas de g_i em pelo menos um local de avaliação e na média dos dois locais. Logo, seus

méritos para CGC não devem ser desconsiderados, uma vez que, como já mencionado, a conjugação de elevado potencial produtivo com alta capacidade de expansão, em um mesmo indivíduo, constitui tarefa relativamente difícil de ser realizada (Zinsly & Machado, 1987).

Considerando simultaneamente os resultados de rendimento de grãos e de capacidade de

expansão, pode-se salientar que as linhagens D (grupo I) e E' (grupo II) foram as únicas que apresentaram estimativas de g_i positivas para ambas as características, na média dos dois locais. Dada a importância da frequência de alelos favoráveis em milho-pipoca, pode-se sugerir o cruzamento dessas linhagens como ponto de partida para explorar simultaneamente a heterose para rendimento de grãos e capacidade de expansão.

Os resultados da Tabela 3 permitem observar que a linhagem D mostrou-se mais promissora dentro do grupo I, pois apresentou estimativas positivas de g_i para rendimento de grãos, em ambos os locais, e para capacidade de expansão, em pelo menos um local. Por sua vez, a linhagem A (grupo I) foi a única que apresentou estimativas positivas de g_i para capacidade de expansão tanto em Maringá quanto em Cidade Gaúcha. Entretanto, não mostrou estimativas positivas de CGC, em nenhum dos dois locais, para rendimento de grãos. Com relação às linhagens do grupo II, pode-se observar, na Tabela 3, que a linhagem E' mostrou elevadas estimativas de g_i para rendimento de grãos, nos dois locais, e em pelo menos um local (Maringá), para capacidade de expansão. Analogamente, C' apresentou estimativas positivas de g_i para capacidade de expansão, em ambos os locais, e em pelo menos um local (Maringá), para rendimento de grãos.

Além do efeito da CGC, também é importante avaliar as interações específicas que refletem efeitos não-aditivos entre as linhagens estudadas. Na Tabela 4, estão apresentadas as estimativas do parâmetro \hat{s}_{ij} referente à CEC, entre as linhagens dos grupos I e II. Pode-se observar que, para o rendimento de grãos, as combinações híbridas mais favoráveis foram B x F', B x E', B x B', D x E', A x A' e F x C', respectivamente, uma vez que essas combinações apresentaram estimativas mais elevadas e positivas de \hat{s}_{ij} em ambos os locais de

avaliação. No entanto, vale ressaltar que as combinações entre as linhagens B x F' e A x A', mesmo não envolvendo genitores com elevada CGC para rendimento de grãos, em ambos os locais, mostraram elevada CEC. Isso sugere que a linhagem B (grupo I) apresenta elevado grau de complementação com a linhagem F' (grupo II), da mesma forma que a linhagem A (grupo I) apresenta um elevado grau de complementação com a linhagem A' (grupo II), resultando em um efeito mais pronunciado da CEC para o rendimento de grãos, mesmo que nenhum dos genitores tenha apresentado elevada CGC.

Com respeito à capacidade de expansão, pode-se observar, na Tabela 4, que as combinações híbridas associadas às maiores estimativas de \hat{s}_{ij} , em Maringá e em Cidade Gaúcha, foram A x F', B x D', B x C', E x A', F x A', C x A' e C x B'. Considerando que somente as combinações A x F' e B x C' apresentaram pelo menos um genitor com estimativa positiva de CGC, é provável que as demais combinações híbridas tenham elevado grau de complementação genética.

As combinações híbridas C x A', C x B', C x F' e E x B' envolveram genitores com CGC baixa e, a exemplo das mencionadas anteriormente, também apresentaram estimativas positivas \hat{s}_{ij} de para capacidade de expansão, em ambos os locais. Contudo, a magnitude da CEC foi relativamente inferior à das combinações mencionadas anteriormente, sugerindo a ocorrência de um grau médio de complementação entre as referidas linhagens genitoras.

Dada a importância conjunta do rendimento de grãos e da capacidade de expansão no melhoramento do milho-pipoca, torna-se importante considerar os resultados das duas características durante a análise da CGC.

TABELA 4. Estimativa dos efeitos de Capacidade Específica de Combinação, para rendimento de grãos e capacidade de expansão, em Maringá-PR e Cidade Gaúcha-PR.

Híbridos	Rendimento de Grãos (t ha ⁻¹)			Capacidade de Expansão (MI g ⁻¹)		
	Maringá	Cidade Gaúcha	Média	Maringá	Cidade Gaúcha	Média
1. A x A'	0,62	0,35	0,48	-0,45	-0,51	-0,48
2. A x B'	-0,04	-0,47	-0,25	-0,75	0,55	-0,09
3. A x C'	-0,29	0,17	-0,06	0,86	-1,24	-0,19
4. A x D'	0,13	0,42	0,27	-1,93	-1,09	-1,51
5. A x E'	-0,25	-0,20	-0,23	-0,15	0,53	0,19
6. A x F'	-0,15	-0,26	-0,21	2,41	1,77	2,09
7. B x A'	-0,79	-0,53	-0,66	-1,20	-1,39	-1,29
8. B x B'	0,68	0,64	0,66	-0,10	0,16	0,03
9. B x C'	-1,32	-0,92	-1,12	0,81	2,36	1,59
10. B x D'	-0,68	-0,83	-0,75	1,21	1,91	1,56
11. B x E'	0,97	0,55	0,76	0,20	-1,24	-0,52
12. B x F'	1,13	1,10	1,11	-0,93	-1,81	-1,37
13. C x A'	-0,06	0,37	0,15	0,38	0,33	0,36
14. C x B'	0,27	0,07	0,17	0,28	0,60	0,44
15. C x C'	0,88	-0,02	0,42	-0,30	-0,59	-0,44
16. C x D'	0,06	-0,04	0,01	-0,10	0,05	-0,02
17. C x E'	-0,65	-0,27	-0,46	-0,31	-0,41	-0,36
18. C x F'	-0,50	-0,10	-0,30	0,05	0,02	0,03
19. D x A'	-0,27	-0,36	-0,32	-0,16	-0,41	-0,29
20. D x B'	-0,25	-0,07	-0,16	1,03	-1,04	-0,00
21. D x C'	0,27	0,17	0,22	-0,55	0,25	-0,14
22. D x D'	0,23	0,03	0,13	0,35	-0,59	-0,12
23. D x E'	0,54	0,72	0,63	-0,26	1,33	0,53
24. D x F'	-0,51	-0,49	-0,50	-0,40	0,47	0,03
25. E x A'	0,32	0,25	0,29	0,76	1,11	0,94
26. E x B'	0,03	-0,17	-0,07	0,06	0,28	0,17
27. E x C'	-0,03	0,15	0,06	-0,31	-0,81	-0,56
28. E x D'	0,14	0,19	0,16	-0,01	-0,16	-0,09
29. E x E'	-0,36	-0,47	-0,42	0,16	-0,13	0,01
30. E x F'	-0,10	0,05	-0,02	-0,66	-0,29	-0,48
31. F x A'	0,18	-0,07	0,05	0,66	0,86	0,76
32. F x B'	-0,69	0,00	-0,34	-0,53	-0,56	-0,54
33. F x C'	0,50	0,45	0,47	-0,51	0,03	-0,24
34. F x D'	0,10	0,22	0,16	0,48	-0,11	0,18
35. F x E'	-0,24	-0,32	-0,28	0,36	-0,08	0,14
36. F x F'	0,14	-0,29	-0,07	-0,46	-0,14	-0,30
DP \hat{S}_{ij}	0,14	0,16	-	0,46	0,37	-
DP $\hat{S}_{ij} \hat{S}_{ik}$	0,21	0,25	-	0,717	0,58	-
DP $\hat{S}_{ij} \hat{S}_{kj}$	0,21	0,25	-	0,717	0,58	-
DP $\hat{S}_{ij} \hat{S}_{kl}$	0,19	0,22	-	0,641	0,52	-

DP = Desvio-padrão

A análise da CEC (Tabela 4) permite observar que as combinações híbridas mais destacadas (E x A' e C x B') apresentaram estimativas significativas de \hat{s}_{ij} tanto para rendimento de grãos quanto para capacidade de expansão, em ambos os locais de avaliação (Maringá e Cidade Gaúcha). A combinação D x E' também se mostrou promissora, uma vez que as estimativas de \hat{s}_{ij} para rendimento de grãos foram elevadas e positivas, em ambos os locais, bem como para a capacidade de expansão, em Cidade Gaúcha. Paralelamente, a combinação F x A' também merece atenção, porque apresentou estimativas elevadas e positivas de \hat{s}_{ij} para capacidade de expansão, em ambos os locais, e para rendimento de grãos, em Maringá.

Nenhum dos híbridos desenvolvidos neste estudo apresentou média de capacidade de expansão igual ou superior à média apresentada pela testemunha IAC-112. Por isso, é importante continuar a busca de novas linhagens que proporcionem ganhos superiores tanto em rendimento de grãos como em capacidade de expansão.

Os resultados significativos para CGC e para CEC (Tabela 1) demonstram que a análise dialélica parcial se mostrou eficiente no estudo dos efeitos da CGC das linhagens endogâmicas de milho-pipoca e dos efeitos da CEC estimados em híbridos obtidos do cruzamento entre linhagens de grupos diferentes, dado que as combinações entre linhagens do mesmo grupo tendem a não apresentar efeito heterótico significativo.

Conclusões

1. As linhagens D, E' e C' podem ser utilizadas na formação de sintéticos, para a extração de linhagens endogâmicas de milho-pipoca, ou como testadores, na avaliação da CEC de outros grupos de linhagens, seja para rendimento de grãos ou capaci-

dade de expansão;

2. As combinações D x E', E x A', F x A' e C x B' foram as mais promissoras entre os híbridos avaliados, tendo apresentado estimativas mais elevadas de CEC para ambas as características.

3. A análise dialélica parcial mostrou-se eficiente no estudo dos efeitos da CGC das linhagens endogâmicas de milho-pipoca e dos efeitos da CEC estimados em híbridos obtidos do cruzamento entre linhagens de grupos diferentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Paraná (Fundação Araucária) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) o auxílio financeiro concedido.

Literatura Citada

ANDRADE, R. A.; CRUZ, C. D.; SCAPIM, C. A.; SILVÉRIO, L.; PINTO, R. J. B.; TONET, A. Análise dialélica da capacidade combinatória de variedades de milho-pipoca. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1197-1204, 2002.

ARAÚJO, P. M.; MIRANDA FILHO, J. B. Analyses of diallel crosses for the evaluation of maize populations across environments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, p. 255-262, 2001.

CRUZ, C.D. **Programa Genes**: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. D. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.

- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. **Cultivares de milho para a safra 2005/2006**. Capturado em 30 de janeiro de 2006. Online. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/cultivares/index.html>.
- FREITAS JÚNIOR, S. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; CRUZ, C. D.; SCAPIM, C. A. Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de dialelo circulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 11, p. 1599-1607, 2006.
- GALVÃO, J. C. C.; SAWAZAKI, E.; MIRANDA, G. V. Comportamento de híbridos de milho-pipoca em Coimbra, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 231-237, 2000.
- GODOY, H.; CORREIA, A. R.; SANTOS, D. Clima do Paraná. In: IAPAR. **Manual agropecuário para o Paraná**. Londrina, 1976. p. 17-36.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal Biology Science**, Melbourne, v. 9, p. 463-493, 1956.
- KVITSCHAL, M. V.; SCAPIM, C. A.; TONET, A.; PINTO, R. J. B.; RETUCCI, V. S.; AMARAL JUNIOR, A. T.; BRACCINI, A. L. Análise dialélica de populações de milho a região Noroeste do Paraná, na "Safrinha". **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n. 293, p. 19-32, 2004.
- LARISH, L. L. B.; BREWBAKER, J. L. Diallel analyses of temperate and tropical popcorns. **Maydica**, Bergamo, v. 44, p. 279-284, 1999.
- LOCATELLI, A. B.; FEDERIZZI, L. C.; NASPOLINI FILHO, V. Capacidade combinatória de nove linhagens endogâmicas de milho (*Zea mays* L.) em dois ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 365-370, 2002.
- MATTA, F. P.; VIANA, J. M. S. Testes de capacidade de expansão em programas de melhoramento de milho-pipoca. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 845-851, 2001.
- MATZINGER, D. F.; SPRAGUE, G. F.; COCKERHAM, C. C. Diallel cross of maize in experiments repeated over locations and years. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, p. 346-350, 1959.
- NASS, L. L.; LIMA, M.; VENCOVSKY, R.; GALLO, P. B. Combining ability of maize inbred lines evaluated in three environments in Brazil. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 129-134, 2000.
- PIXLEY, K. V.; BJARNASON, M. S. Combining ability for yield and protein quality among modified-endosperm opaque-2 tropical maize inbreds. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 1229-1234, 1993.
- ROJAS, B. A.; SPRAGUE, G. F. A comparison of variance components in corn yield trials: III. General and specific combining ability and their interaction with locations and years. **Agronomy Journal**, Madison, v. 44, p. 462-466, 1952.
- SANTOS, J. F. S.; VIANA, M. S.; VILARINHO, A. A.; CÂMARA, T. M. M. Efficiency of S progeny selection strategies in popcorn. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 4, n. 2, p. 183-191, 2004.
- SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; CASTRO, J. L.; GALLO, P. B.; GALVÃO, J. C.

- C.; SAES, L. A. Potencial de linhagens locais de milho-pipoca para síntese de híbridos. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 143-151, 2000.
- SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, p. 683-686, 1995.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- SILVA, H. P.; BARBOSA, M. P. M.; NASS, L. L.; CAMARGO, L. E. A. Capacidade de combinação e heterose para resistência a *Puccinia polysora* Underw. em milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 777-783, 2001.
- SILVA, R. M.; MIRANDA FILHO, J. B. Heterosis expression in crosses between maize populations: ear yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 519-524, 2003.
- SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- TROYER, A. F. Breeding widely adapted, popular maize hybrids. **Euphytica**, Wageningen, v. 92, p. 163-174, 1996.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.
- VIANA, J. M. S.; MATTA, F. P. Analysis of general and specific combining abilities of popcorn populations, including selfed parents. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 26, n. 4, p. 465-471, 2003.
- VILARINHO, A. A.; VIANA, J. M. S.; SANTOS, J. F.; CÂMARA, T. M. M. Eficiência da seleção de progênies S e S de milho-pipoca, visando à produção de linhagens. **Bragantia**, Campinas, v. 62, p. 9-17, 2003.
- VILARINHO, A. A.; VIANA, J. M. S.; CÂMARA, T. M. M.; SANTOS, J. F. Seleção de progênies endogâmicas S e S de melhoramento intrapopulacional de milho-pipoca. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1419-1425, 2002.
- ZINSLY, J. R.; MACHADO, J. A. Milho Pipoca. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção de milho**. 2. ed. rev. aum. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 411-422.