

# Análise dialélica na avaliação do potencial de híbridos de milho para a geração de populações-base para obtenção de linhagens

## Diallelic analysis in assessing the potential of maize hybrids to generate base-populations for obtaining lines

Rodrigo Oliboni<sup>1</sup>; Marcos Ventura Faria<sup>2\*</sup>; Mikael Neumann<sup>2</sup>;  
Juliano Tadeu Vilela Resende<sup>2</sup>; Guilherme Mendes Battistelli<sup>3</sup>;  
Rafael Gallo Tegoni<sup>4</sup>; Débora Falkemback Oliboni<sup>5</sup>

### Resumo

Doze híbridos comerciais de milho foram inter cruzados, conforme um dialelo completo. Esses genótipos e três testemunhas foram avaliados em látice triplo na região Centro-Sul do Paraná, nos municípios de Laranjeiras do Sul, Guarapuava e Cantagalo. Os dados referentes à produção de espigas despalhadas, altura de planta e altura de espiga foram submetidos à análise dialélica conjunta, segundo o método 4 de Griffing, em que foram avaliados apenas os  $F_1$ . Foi verificado efeito significativo da capacidade geral de combinação (CGC), da capacidade específica de combinação (CEC) e da interação 'CGC x locais' para todos os caracteres. A interação 'CEC x locais' foi não significativa para as características avaliadas. Os híbridos P30F53 e AS1575 apresentaram estimativas positivas e elevadas da CGC para peso de espigas despalhadas e alta produtividade, mostrando-se promissores para geração de populações com bom potencial para obtenção de linhagens superiores no melhoramento intrapopulacional. Os híbridos P30F44 e 2B688 apresentam potencial para a geração de populações para melhoramento interpopulacional, pois apresentaram elevada média da produtividade de espigas despalhadas, estimativas positivas da CGC e da CEC, além de estimativas favoráveis para altura de espiga.

**Palavras-chave:** Capacidade de combinação, dialelo, milho híbrido, *Zea mays* L

### Abstract

Twelve commercial maize hybrids were intercrossed in a complete diallel. These genotypes and three checks were evaluated in lattice design with three replications in the South-Central region of Parana State, in Laranjeiras do Sul, Guarapuava and Cantagalo. Data of yield of husked ear, plant height and ear height were submitted to joint diallel analysis according to Griffings method 4, i.e. only  $F_1$  were evaluated. Significant effect was found for general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA) and interaction 'GCA x locations' for all characters. The interaction 'SCA x location' was not significant for both characters. Hybrids P30F53 and AS1575 showed positive and high estimates of GCA for yield of husked ear and high mean of yield, being interesting for the generation of populations with potential for intrapopulation breeding to obtain superior lines. The hybrids P30F44 and 2B688 are potentially indicated to generate populations for interpopulational breeding, since their high in yield of husked ears, positive GCA and SCA estimates, besides favorable estimates for ear height.

**Key words:** Combining ability, diallel, maize hybrid, *Zea mays* L

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Mestre em Produção Vegetal, Pesquisador da OR Melhoramento de Sementes Ltda., Passo Fundo, RS. E-mail: rodrigooliboni@gmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>os</sup> Agr<sup>os</sup>, Profs. Drs. da Universidade Estadual do Centro Oeste, UNICENTRO, Campus CEDETEG, Guarapuava, PR. E-mail: mfaría@unicentro.br; mikaelneumann@hotmail.com; jresende@unicentro.br

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Geneze Sementes S/A, Paracatu, MG. E-mail: guilherme@geneze.com.br

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Bayer CropScience, Assis, SP. E-mail: rgt\_tegoni@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Discente de graduação, UNICENTRO, Guarapuava, PR. E-mail: dfoliboni@gmail.com

\* Autor para correspondência

## Introdução

Uma das decisões importantes em programas de melhoramento do milho é a escolha das populações a serem trabalhadas, pois são nessas populações que devem se concentrar os alelos favoráveis para as características de interesse, permitindo a extração de linhagens superiores (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010, PATERNIANI; CAMPOS, 1999). Uma escolha equivocada da população-base compromete todo o trabalho de seleção que será praticado ao longo das gerações, implicando em desperdício de tempo e de recursos investidos.

Atualmente, nos programas de melhoramento do milho têm-se utilizado germoplasma de base genética estreita para a formação das populações-base, em detrimento do uso de cultivares de polinização aberta (TROYER, 1999). Nesse sentido, a identificação de populações promissoras, oriundas de híbridos simples de alto rendimento, é uma boa estratégia para aumentar a eficiência dos programas de melhoramento. A vantagem desses híbridos é que são adaptados e foram amplamente avaliados e selecionados para fenótipos desejáveis e, portanto, apresentam alto potencial de produção devido ao acúmulo de alelos favoráveis.

Para que se possa realizar a extração de linhagens promissoras em populações formadas a partir de híbridos comerciais é importante que esses genótipos sejam escolhidos com base na manifestação da heterose e da capacidade de combinação. A análise dialélica é amplamente utilizada em várias espécies cultivadas, na contribuição para a escolha dos genitores e de populações segregantes, bem como para o fornecimento de informações sobre o controle genético dos caracteres (VEIGA; FERREIRA; RAMALHO, 2000, GORGULHO; MIRANDA FILHO, 2001, CRUZ; REGAZZI, 1997, PATERNIANI et al., 2008, MACHADO et al., 2009, BALDISSERA et al., 2012). Os valores genéticos dos genitores e das combinações híbridas

presentes em um dialelo são resultados da natureza dos efeitos gênicos envolvidos na determinação da característica sob análise, revelando informações importantes para o planejamento de programas de melhoramento, quanto à estratégia de seleção e escolha dos seus métodos (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993).

A estimativa da capacidade geral de combinação (CGC) do genitor, obtida com base em suas populações híbridas, indica o quanto este difere da média geral dos genitores da população dialélica. Quanto mais altos forem os valores referentes à CGC, positivos ou negativos, determinado genitor será considerado muito superior ou inferior aos demais incluídos no dialelo e se apresentar próximo de zero, seu comportamento não difere da média geral dos cruzamentos (CRUZ; REGAZZI, 1997). Genitores que apresentam maiores estimativas positivas ou negativas da CGC são potencialmente favoráveis quanto as suas contribuições para programas de melhoramento, conforme o interesse em se aumentar ou diminuir a característica (OLIVEIRA et al., 2004).

Os efeitos da capacidade específica de combinação são medidas dos efeitos gênicos não aditivos. São desejáveis aquelas combinações híbridas com estimativas de capacidade específica de combinação mais favorável, que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado o mais favorável efeito de capacidade geral de combinação (BORDALLO et al., 2005, AGUIAR et al., 2004, MELO; VON PINHO; FERREIRA, 2001).

Os objetivos do presente trabalho foram verificar as capacidades geral e específica de combinação para caracteres agrônômicos, entre doze híbridos comerciais de milho, em três ambientes e determinar o potencial para a geração de populações de melhoramento intrapopulacional e interpopulacional com base na análise dialélica.

## Material e Métodos

Doze híbridos comerciais de milho provenientes de diferentes programas de melhoramento (P30F53, P30F44, AG8021, GNZ2005, GNZ2004, Penta, Premium Flex, Sprint, AS1575, 2B587, 2B688 e DKB234) foram cruzados em esquema dialélico completo, obtendo-se as 66 combinações híbridas possíveis, desconsiderando os recíprocos. Com exceção do GNZ2005 e 2B688, que são híbridos triplos, os demais genitores são híbridos simples. Os doze genitores, juntamente com os 66 híbridos e mais três testemunhas (os híbridos simples P30F50, AS1560 e DKB214) foram avaliados em três locais da região centro sul do Paraná.

O primeiro experimento foi conduzido no município de Laranjeiras do Sul, localizado a 25°24'15" de latitude sul, 52°28'22" de longitude oeste, com 790 m de altitude, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006). O segundo experimento foi conduzido no município de Guarapuava, a 25°23'02" de latitude sul, 51°29'43" de longitude oeste, com altitude de 1026 m, tem um solo classificado como Latossolo Bruno Aluminico típico (EMBRAPA, 2006). O terceiro experimento foi conduzido no município de Cantagalo, localizado a 25°22'28" de latitude sul, 52°07'35" de longitude oeste, com 790 m de altitude em um solo classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 2006). O clima dos três locais, segundo classificação de Köppen é Cfb subtropical (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002), sem estação seca definida, temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C e com precipitação anual média de 1800 mm.

Em cada experimento foi empregado o delineamento em látice triplo 9 x 9. Cada parcela foi constituída por duas linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,80 m, totalizando área de 8 m<sup>2</sup>, com 5 plantas por metro e população equivalente a 62.500 plantas por hectare.

Foram avaliadas as seguintes características: produção de espigas despalhadas (t ha<sup>-1</sup>) corrigida para 13% de umidade, altura de planta (m) e altura de inserção da primeira espiga (m), tomadas de cinco plantas competitivas por parcela. Para a produção de espigas despalhadas, para cada local foi realizado a correção de estande pelo método da covariância (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005) considerando o estande ideal de 50 plantas por parcela.

Os dados foram submetidos às análises de variância individual para cada local. A análise conjunta envolvendo os três locais foi realizada após a constatação da homogeneidade das variâncias residuais pelo teste de Hartley (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005). As médias de tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Foram também realizadas análises de variância individuais envolvendo apenas os 66 cruzamentos, com a finalidade de subsidiar a análise dialélica conjunta com o desdobramento da soma de quadrados das médias dos tratamentos em estimativa da soma dos quadrados para capacidades geral e específica de combinação, de acordo com o Método 4 (apenas híbridos F<sub>1</sub>), Modelo 1 (efeitos de genótipos fixo), segundo metodologia proposta por Griffing (1956). As análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico GENES (CRUZ, 2006).

## Resultados e Discussão

O delineamento em látice apresentou baixa eficiência para as características avaliadas e as análises foram então realizadas segundo o delineamento em blocos completos com os tratamentos casualizados.

As diferenças significativas entre os locais para as três características (Tabela 1) demonstram que, embora os locais de condução dos experimentos sejam relativamente próximos, os ambientes foram

suficientemente distintos para que se detectassem diferenças significativas entre eles. Este fato também foi observado em outras ocasiões, em experimentos de milho realizados no Paraná (PFANN et al., 2009; AGUIAR et al., 2004). Os coeficientes de variação

obtidos são considerados médios para rendimento de grãos (11,88%), altura de plantas (4,95%) e altura de inserção da espiga (9,54%), de acordo com a classificação proposta por Scapim, Carvalho e Cruz (1995), demonstrando boa precisão experimental.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância conjunta relativas aos 81 genótipos de milho e da análise dialélica conjunta das 66 combinações híbridas para os caracteres produção de espigas despalhadas, altura de plantas e de espiga, avaliados em três locais (Laranjeiras do Sul, Guarapuava e Cantagalo) da região Centro-Sul do Paraná.

F.V.	G.L.	Quadrado médio		
		Produção de espigas despalhadas (t ha <sup>-1</sup> )	Altura de planta (m)	Altura de espiga (m)
Blocos/Locais	6	11,7649*	0,4104*	0,0495*
Locais (L)	2	269,7564*	14,2799*	13,3106*
Tratamentos (T)	80	10,7746*	0,0758*	0,0784*
Genitores (G)	11	11,7754*	0,0815*	0,1036*
Cruzamentos (C)	65	8,2178*	0,0732*	0,0684*
Testemunhas (t)	2	31,0498*	0,1455*	0,1102*
G vs C	1	18,6720*	0,0294 <sup>ns</sup>	0,0085*
t vs C	1	117,519*	0,8619*	0,4543*
T x L	160	3,0405*	0,0194*	0,0271*
G x L	22	5,9916*	0,0224*	0,0097*
C x L	130	2,5043*	0,0159 <sup>ns</sup>	0,017 <sup>ns</sup>
t x L	4	4,4855*	0,0109 <sup>ns</sup>	0,0049 <sup>ns</sup>
Erro médio	480	2,0783	0,0141	0,0173
Média geral		12,13	2,40	1,38
CV %		11,88	4,95	9,54
DIALELO				
Tratamentos (T)	65	6,6863*	0,0732*	0,0684*
CGC	11	8,7728*	0,3043*	0,2753*
CEC	54	6,6687*	0,0261*	0,0312*
Locais (L)	2	123,4320	12,5199	12,2369
T x L	130	1,8071*	0,0159 <sup>ns</sup>	0,0219 <sup>ns</sup>
CGC x L	22	4,0551*	0,0301*	0,0301*
CEC x L	108	1,2066 <sup>ns</sup>	0,0130 <sup>ns</sup>	0,0202 <sup>ns</sup>
Erro médio	390	0,9627	0,0147	0,0194
Média geral		9,93	2,40	1,38
CV %		9,88	5,05	10,09

\* significativo a 5% pelo Teste F.

Fonte: Elaboração dos autores.

Foi verificado efeito significativo da interação ‘tratamentos x locais’ ( $p < 0,05$ ) para todas as características avaliadas (Tabela 1), o que pressupõe comportamento diferenciado dos genótipos em função das variações ambientais existentes entre os locais.

Os quadrados médios do desdobramento dos tratamentos em genitores, cruzamentos e testemunhas foram significativos (Tabela 1), indicando a ocorrência de diferenças entre os genótipos dentro de cada um desses grupos. O contraste ‘genitores vs cruzamentos’ quando significativo, permite que se faça inferência sobre a heterose média dos cruzamentos do dialelo. Em relação ao contraste ‘Testemunhas (t) vs Cruzamentos (C)’, foram observados valores significativos para os quadrados médios para todas as características avaliadas (Tabela 1). A média de produção de espigas despalhadas dos cruzamentos superou a média das testemunhas em  $0,930 \text{ t ha}^{-1}$  e excedeu em  $1,15 \text{ t ha}^{-1}$  a média dos genitores, isso pressupõe a ocorrência de heterose positiva manifestada na média dos cruzamentos em relação aos genitores e testemunhas, e que há divergência genética entre os híbridos comerciais utilizados, antevendo a possibilidade de sucesso na seleção daqueles mais promissores para a obtenção de populações base a partir da análise dialélica.

Na análise dialélica, a existência de variabilidade genética entre as 66 combinações híbridas foi demonstrada pelos efeitos significativos entre os tratamentos para todas as características avaliadas. No desdobramento dos efeitos dos tratamentos em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) foram detectados efeitos significativos para ambas (Tabela 1), o que indica que os genitores contribuem de modo diferente nos cruzamentos em que estão envolvidos e que o desempenho dos híbridos diferiu em relação ao esperado com bases nos efeitos da CGC dos genitores.

Efeitos significativos da CGC também foram relatados em trabalhos desenvolvidos por Lemos

et al. (2002) para a característica peso de espigas despalhadas, em dialelo completo envolvendo dez linhagens de milho superdoce em dois ambientes, por Parentoni et al. (1991) em cruzamentos dialélicos entre dez linhagens de milho doce, por Aguiar et al. (2004) para rendimento de grãos, altura de planta e altura de espiga em análise dialélica de milho na safrinha, em quatro ambientes distintos no Paraná e por Machado et al. (2009) que avaliaram a capacidade de combinação de dez híbridos comerciais em doze ambientes no sul de Minas Gerais. Pfann et al. (2009) em um estudo sobre a capacidade combinatória entre híbridos comerciais de milho em dialelo circulante, realizado em dois locais da região centro-sul paranaense (Guarapuava e Goioxim), verificaram efeito significativo da CGC para as características produção de grãos, altura de planta e altura de espiga, indicando que os genitores diferiram na frequência de alelos favoráveis, existindo aqueles mais promissores para a formação de populações superiores. As estimativas da CGC para as características avaliadas em cada local, bem como na média dos três locais estão na Tabela 2.

O efeito significativo da CEC verificado para a produção de espigas despalhadas é um indicativo de que populações geradas a partir desses genitores podem ser úteis no melhoramento interpopulacional, para a obtenção de linhagens que ao serem cruzadas, poderão gerar híbridos com maior heterose. A divergência entre os genitores pode ser associada à variação observada entre as médias para as três características avaliadas (Tabelas 3, 4 e 5), porém apenas a divergência genética não é suficiente para assegurar elevados níveis de heterose (OLIBONI et al., 2012). A CEC se manifesta em função dos efeitos de dominância e epistasia e das diferenças nas frequências alélicas dos genitores para os locos envolvidos no controle de determinada característica (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010).

O componente quadrático da CEC da produção de espigas foi 9,7 vezes maior do que o da CGC, indicando que os efeitos não aditivos foram

mais importantes do que os efeitos aditivos para a variação ocorrida nesse grupo de híbridos, concordando com os resultados obtidos por Machado et al. (2009). Desse modo, é possível antever a possibilidade de obtenção de novas populações para melhoramento interpopulacional, a partir de combinações obtidas com os genitores utilizados. Contrariamente, os componentes quadráticos da CGC foram relativamente maiores do que os da CEC para altura de plantas e de espigas, indicando maior importância dos efeitos aditivos.

Houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da interação 'CGC x locais' para todos os caracteres (Tabela 1), sugerindo a necessidade de considerar genitores diferentes para locais específicos. Carvalho, Souza e Ribeiro (2003) relataram efeito significativo para a interação 'CGC x ambientes' para os caracteres produção de espigas, altura de planta e altura de espiga, na avaliação de linhagens parcialmente endogâmicas de milho em dialelo circulante em dois ambientes. Machado et al. (2009) estudaram a estabilidade das capacidades de combinação de dez híbridos simples comerciais avaliados doze ambientes no sul de Minas Gerais e concluíram que é possível selecionar genitores com elevada estabilidade para a capacidade de combinação e com CGC de elevada magnitude. Efeitos significativos da interação 'CGC x ambientes' em experimentos com milho também foram relatados por outros autores (LOCATELLI; FEDERIZZI; NASPOLINI FILHO, 2002; LEMOS et al., 2002).

A interação 'CEC x locais' foi não significativa para todas as características avaliadas (Tabela 1), o que pressupõe não haver necessidade de se explorar combinações híbridas específicas para cada local e as decisões do programa de melhoramento podem ser tomadas com base na CEC dos cruzamentos na média dos locais. Efeito não significativo para a interação 'CEC x ambientes' foi observado por

Fuzatto et al. (2002) em cruzamento dialélico envolvendo vinte e cinco cultivares de milho em dois locais.

Os híbridos P30F53 e AS1575 apresentaram estimativas positivas e elevadas da CGC para a produção de espigas despalhadas em todos os locais, bem como na média dos três locais (Tabela 2), indicando aumento médio da contribuição gênica para rendimento de grãos nos cruzamentos em que participaram. Além disso esses genitores estão entre os de maior produtividade média (Tabela 3) e podem ser identificados como promissores para serem usados em programas de melhoramento, pois associam elevada média e elevada CGC, propiciando populações com bom potencial para extração de linhagens. O genitor P30F44 apresentou as maiores estimativas da CGC para a produção de espigas despalhadas em Laranjeiras do Sul ( $0,743 \text{ t ha}^{-1}$ ) e em Cantagalo ( $0,581 \text{ t ha}^{-1}$ ) e a segunda maior estimativa na média dos ambientes. O genitor 2B688 apresentou a maior estimativa da CGC em Guarapuava ( $1,129 \text{ t ha}^{-1}$ ) e a maior estimativa na média dos três locais (Tabela 2), além de se posicionar no grupo de genitores com as maiores médias de produção de espigas despalhadas (Tabela 3).

As estimativas negativas de maior magnitude da CEC ocorreram para os cruzamentos entre híbridos provenientes de um mesmo programa de melhoramento, Premium Flex x Sprint ( $-3,323 \text{ t ha}^{-1}$ ), Sprint x Penta ( $-2,081 \text{ t ha}^{-1}$ ), GNZ2004 x GNZ2005 ( $-1,738 \text{ t ha}^{-1}$ ), P30F53 x P30F44 ( $-1,539 \text{ t ha}^{-1}$ ) e, dessa forma, presume-se que possuem alto grau de parentesco, resultando em expressiva depressão por endogamia quando cruzados. A estimativa de maior valor positivo da CEC foi obtida para a combinação híbrida P30F44 x Sprint ( $1,849 \text{ t ha}^{-1}$ ), indicando que essa combinação explora vantajosamente os efeitos de dominância.

**Tabela 2.** Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ( $\hat{g}_i$ ) referentes às características produção de espigas despalhadas, altura de planta, altura de espiga dos 12 genitores (híbridos de milho) avaliados em três locais na região Centro-Sul do Paraná.

Genótipo	Produção de espigas despalhadas ( $\hat{g}_i$ )				Altura de planta ( $\hat{g}_i$ )				Altura de espiga ( $\hat{g}_i$ )			
	A1	A2	A3	média	A1	A2	A3	média	A1	A2	A3	média
P30F53	0,279	0,283	0,149	0,237	-0,061	-0,109	-0,112	-0,094	-0,038	-0,083	-0,041	-0,054
P30F44	0,743	-0,187	0,581	0,379	-0,021	-0,099	0,004	-0,039	-0,002	-0,057	0,010	-0,016
AG 8021	-0,308	0,168	-0,218	-0,120	0,061	0,094	0,078	0,078	0,032	0,078	0,065	0,058
GNZ2005	-0,466	-0,141	-0,111	-0,239	0,022	0,047	-0,025	0,015	-0,024	-0,022	-0,049	-0,032
GNZ2004	0,178	0,093	-0,249	0,007	0,082	0,094	0,062	0,079	-0,041	0,011	-0,034	-0,022
Penta	0,437	-0,949	0,050	-0,154	-0,050	-0,107	-0,043	-0,067	0,013	-0,010	0,017	0,007
P. Flex	-0,137	-0,594	-0,344	-0,359	0,001	0,056	0,035	0,031	0,003	0,071	0,057	0,044
Sprint	-0,081	-0,530	-0,383	-0,331	0,015	-0,032	0,041	0,008	0,120	0,037	0,048	0,069
AS1575	0,201	0,133	0,455	0,263	0,055	0,064	0,036	0,051	0,141	0,083	0,074	0,099
2B587	-0,098	0,464	0,115	0,160	-0,050	-0,029	-0,089	-0,056	-0,046	-0,039	-0,095	-0,060
2B688	-0,026	1,129	0,053	0,385	-0,062	-0,023	-0,043	-0,043	-0,097	-0,056	-0,059	-0,071
DKB234	-0,720	0,133	-0,094	-0,227	0,008	0,044	0,057	0,036	-0,061	-0,013	0,007	-0,022

A1 = Laranjeiras do Sul-PR, A2 = Guarapuava-PR, A3 = Cantagalo-PR.

**Fonte:** Elaboração dos autores.**Tabela 3.** Estimativas da capacidade específica de combinação ( $\hat{s}_{ij}$ ) (acima da diagonal) e valores médios da produção de espigas despalhadas de milho ( $t\ ha^{-1}$ ) dos 12 genitores (diagonal), dos 66 híbridos (abaixo da diagonal) e das testemunhas na média dos três locais da região Centro-Sul do Paraná.

	P30F53	P30F44	AG8021	GNZ 2005	GNZ 2004	Penta	Premium Flex	Sprint	AS175	2B587	2B688	DKB 234
P30F53	<b>12,61 a</b>	-1,539	-0,390	0,136	0,366	1,044	0,445	1,225	0,037	-0,503	-0,282	-0,539
P30F44	11,59 a	<b>11,35 b</b>	-0,306	-0,233	-0,006	0,269	0,643	1,849	-0,188	-0,412	0,196	-0,275
AG8021	11,81 a	12,20 a	<b>10,49 b</b>	0,862	-0,164	0,084	0,925	0,531	-0,253	-0,384	-0,809	-0,096
GNZ2005	12,47 a	12,35 a	12,73 a	<b>9,76 b</b>	-1,738	0,557	0,558	0,771	0,113	-0,621	-0,566	0,160
GNZ2004	13,07 a	12,65 a	12,06 a	10,22b	<b>10,55b</b>	0,737	-0,005	0,041	0,380	0,470	0,245	-0,326
Penta	13,64 a	12,84 a	12,14 a	12,51a	13,21a	<b>10,77b</b>	-0,710	-2,081	-0,632	0,141	0,439	0,152
Premium Flex	12,29 a	13,18 a	12,77 a	12,37a	11,53b	11,22b	<b>11,08 b</b>	-3,323	-0,197	1,235	0,530	-0,101
Sprint	13,58 a	14,34 a	12,30 a	12,39a	11,86a	9,70b	8,23b	<b>9,81 b</b>	-0,125	0,641	0,120	0,352
AS1575	13,28 a	13,22 a	12,37 a	12,52a	12,80a	12,03a	12,11a	12,24a	<b>12,48a</b>	0,494	0,306	0,065
2B587	12,35 a	12,63 a	12,22 a	11,44b	13,12a	12,56a	13,40a	13,04a	13,32a	<b>12,56a</b>	-0,925	-0,136
2B688	12,68 a	13,65 a	11,73 a	11,48b	13,09a	13,35a	12,92a	12,33a	13,81a	11,80a	<b>12,77a</b>	0,746
DKB234	11,75 a	12,64 a	11,82 a	11,70a	11,63a	11,79a	11,25b	11,79a	12,06a	12,21a	13,31a	<b>10,06b</b>
Testemunhas												
	P30R50				AS 1560				DKB 214			
	13,55a				10,47b				10,21b			

Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

Todos os cruzamentos em que os híbridos P30F53, P30F44, AG8021 e AS1575 participaram como genitores foram classificados no grupo de maiores médias da produção de espigas despalhadas, na média dos três locais, não diferindo da testemunha mais produtiva P30R50 (Tabela 3). Conforme já mencionado, com exceção do AG8021, esse genitores apresentaram as estimativas mais favoráveis da CGC dentre os híbridos envolvidos nesse trabalho. Dessa forma, P30F53 e AS1575, que estão no grupo de genitores mais produtivos, associam boa CGC com média elevada sendo, portanto indicados para obtenção de populações via melhoramento intrapopulacional visando a obtenção de linhagens superiores.

O teste de Scott-Knott proporcionou a formação de dois grupos de médias na análise conjunta para a característica altura de planta (Tabela 4). Os híbridos P30F53, P30F44, Sprint e 2B587, utilizados como genitores, e a testemunha DKB214 foram classificados no grupo de genótipos com menor altura de planta na média dos três ambientes de avaliação (Tabela 4), sendo esse um fenótipo desejável. Com relação ao P30F53, dos 11 cruzamentos em que foi empregado como genitor, dez estão incluídos no grupo de menor altura de planta, não diferindo da testemunha DKB214 (Tabela 4).

**Tabela 4.** Estimativas da capacidade específica de combinação ( $\hat{s}_{ij}$ ) (acima da diagonal) e valores médios da altura de planta de milho (m) dos genito-res (diagonal), dos 66 cruzamentos (abaixo da diagonal) e da das testemunhas na média dos três locais da região Centro-Sul do Paraná.

	P30F53	P30F44	AG8021	GNZ 2005	GNZ 2004	Penta	Premium Flex	Sprint	AS175	2B587	2B688	DKB 234
P30F53	<b>2,34a</b>	0,042	-0,032	-0,036	0,005	0,041	0,012	-0,058	0,042	-0,016	0,01	-0,010
P30F44	2,31a	<b>2,34a</b>	-0,046	-0,042	0,062	0,008	-0,006	-0,016	0,010	0,055	-0,097	0,030
AG8021	2,35a	2,39a	<b>2,56b</b>	0,031	-0,031	0,031	0,098	0,123	-0,033	-0,047	-0,004	-0,090
GNZ2005	2,29a	2,34a	2,53b	<b>2,41b</b>	-0,132	0,018	0,074	-0,04	-0,003	0,063	0,051	0,017
GNZ2004	2,39a	2,51b	2,53b	2,36a	<b>2,50b</b>	0,020	-0,003	0,058	0,001	-0,030	0,027	0,022
Penta	2,28a	2,31a	2,45b	2,37a	2,43b	<b>2,40b</b>	-0,041	-0,044	0,018	-0,033	-0,041	0,022
Premium Flex	2,35a	2,39a	2,61b	2,52b	2,51b	2,32a	<b>2,45b</b>	-0,142	-0,012	0,034	0,023	-0,036
Sprint	2,26a	2,36a	2,61b	2,39a	2,55b	2,30a	2,30a	<b>2,24a</b>	0,049	0,052	-0,029	0,049
AS1575	2,40b	2,43b	2,50b	2,47b	2,53b	2,41b	2,47b	2,51b	<b>2,44b</b>	-0,053	-0,014	-0,005
2B587	2,24a	2,36a	2,38a	2,42b	2,40b	2,25a	2,41b	2,41b	2,34a	<b>2,33a</b>	0,025	-0,049
2B688	2,28a	2,22a	2,44b	2,43b	2,47b	2,25a	2,41b	2,34a	2,40b	2,33a	<b>2,40b</b>	0,050
DKB234	2,33a	2,43b	2,43b	2,47b	2,54b	2,40b	2,43b	2,49b	2,49b	2,34a	2,45b	<b>2,55b</b>
Testemunhas												
	P30R50				AS 1560				DKB 214			
	2,45b				2,37a				2,20a			

Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Elaboração dos autores.



Os genitores P30F53, Penta, 2B587 e 2B688 apresentaram estimativas negativas da CGC para altura de planta em todos os locais (Tabela 2). As estimativas negativas de maior magnitude da CEC para altura de planta, na média dos três locais, foram obtidas nos cruzamentos Premium Flex x Sprint (-0,142), GNZ 2005 x GNZ 2004 (-0,132), P30F44 x 2B688 (-0,098), e AG8021 x DKB234 (-0,090) (Tabela 4). Cabe ressaltar que algumas combinações híbridas cujos genitores apresentaram as estimativas mais favoráveis da CGC (P30F53 x 2B587, Penta x 2B587 e Penta x 2B688), tiveram

também estimativas negativas da CEC, o que as tornam promissoras na geração de populações que contribuam para obtenção de genótipos mais baixos.

As estimativas da CEC para altura de espiga seguiram comportamento semelhante àquelas obtidas para altura de planta, com exceção do genitor Penta que não contribuiu para reduzir a altura de espiga na média dos cruzamentos em que participou. O cruzamento Sprint x AS1575 teve destaque negativo, pois apresentou estimativa de CEC de 0,237 na análise dialélica conjunta (Tabela 5).

**Tabela 5.** Estimativas da capacidade específica de combinação ( $\hat{s}_i$ ) (acima da diagonal) e valores médios da altura de espiga (m) dos genitores (diagonal), dos 66 cruzamentos (abaixo da diagonal) e da das testemunhas na média dos três locais da região Centro-Sul do Paraná.

	P30F53	P30F44	AG8021	GNZ 2005	GNZ 2004	Penta	Premium Flex	Sprint	AS1575	2B587	2B688	DKB 234
P30F53	<b>1,37a</b>	0,032	0,006	-0,014	-0,063	0,062	0,024	-0,083	0,035	0,002	-0,003	0,003
P30F44	1,25a	<b>1,38a</b>	-0,035	-0,014	0,057	0,052	-0,032	-0,031	-0,018	0,065	-0,074	-0,001
AG8021	1,54b	1,38a	<b>1,59b</b>	0,026	-0,018	-0,033	0,104	0,064	-0,072	0,006	-0,002	-0,025
GNZ2005	1,28a	1,31a	1,43a	<b>1,36a</b>	-0,059	0,046	0,038	-0,054	-0,037	0,013	0,050	0,005
GNZ2004	1,24a	1,39a	1,40a	1,27a	<b>1,38a</b>	0,025	0,033	-0,007	-0,009	0,016	0,017	0,007
Penta	1,39a	1,42a	1,41a	1,40a	1,39a	<b>1,49a</b>	-0,056	-0,074	0,006	-0,043	0,002	0,014
Premium Flex	1,39a	1,37a	1,56b	1,43a	1,43a	1,37a	<b>1,61b</b>	-0,056	-0,021	0,005	0,008	-0,025
Sprint	1,30a	1,40a	1,57b	1,36a	1,42a	1,38a	1,43a	<b>1,25a</b>	0,237	0,022	-0,040	0,022
AS1575	1,45a	1,44a	1,46a	1,40a	1,45a	1,49b	1,50b	1,78b	<b>1,53b</b>	-0,053	-0,034	-0,034
2B587	1,26a	1,36a	1,38a	1,30a	1,31a	1,28a	1,37a	1,41a	1,36a	<b>1,39a</b>	0,005	-0,038
2B688	1,25a	1,21a	1,36a	1,33a	1,30a	1,31a	1,36a	1,33a	1,37a	1,25a	<b>1,37a</b>	0,072
DKB234	1,30a	1,34a	1,39a	1,32a	1,34a	1,37a	1,37a	1,44a	1,42a	1,25a	1,35a	<b>1,42a</b>
Testemunhas												
	P30R50				AS 1560				DKB 214			
	1,42a				1,26a				1,21a			

Médias seguidas pela mesma letra pertencem a um mesmo grupo pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Elaboração dos autores.

## Conclusões

Os efeitos não aditivos foram mais importantes do que os efeitos aditivos para a variação ocorrida na produção de espigas despalhadas no grupo de híbridos envolvidos no dialelo.

Os híbridos P30F53 e AS1575 apresentam estimativas positivas e elevadas da CGC para

peso de espigas despalhadas e alta produtividade média, mostrando-se promissores para geração de populações com bom potencial para seleção de linhagens superiores no melhoramento intrapopulacional.

Os híbridos P30F44 e 2B688 têm potencial para a geração de populações para melhoramento

interpopulacional, pois apresentam elevada média de produtividade de espigas despalhadas, estimativas positivas da CGC e da CEC, além de estimativas favoráveis para altura de espiga.

## Agradecimentos

Ao CNPq e Fundação Araucária pelo apoio financeiro e à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

## Referências

- AGUIAR, C. G.; SCAPIM, C. A.; PINTO, R. J. B.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; SILVÉRIO, L.; ANDRADE, C. A. B. Análise dialélica de linhagens de milho na safrinha. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1731-1737, 2004.
- BALDISSERA, J. N. C.; VALENTINI, G.; COAN, M. M. D.; ALMEIDA, C. B.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. F. M. Capacidade combinatória e efeito recíproco em características agrônômicas do feijão. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 2, p. 471-480, 2012.
- BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M. G.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GABRIEL, A. P. C. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 23, n. 1, p. 123-127, 2005.
- CARVALHO, A. D. F. de; SOUZA, J. C.; RIBEIRO, P. H. E. Desempenho de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas de milho em regiões dos estados de Roraima e Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 5, p. 985-990, 2003.
- CRUZ, C. D. *Programa genes – biometria*. Viçosa, MG: UFV, 2006. 382 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 1997. 390 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- FUZATTO, S. R.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P.; RIBEIRO, P. H. E. Divergência genética e sua relação com os cruzamentos dialélicos na cultura do milho. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 26, n. 1, p. 22-32, 2002.
- GORGULHO, E. P.; MIRANDA FILHO, J. B. Estudo da capacidade combinatória de variedades de milho no esquema de cruzamento dialélico parcial. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 1, p. 1-8, 2001.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Science*, Melbourne, v. 9, p. 463-493, 1956.
- HALLAUER, A. R.; CARENA, J. M.; MIRANDA FILHO, J. B. de. *Quantitative genetics in maize breeding*. New York: Springer, 2010. 500 p.
- LEMONS, M. A.; GAMA, E. E. G.; MENEZES, D.; SANTOS, V. F.; TABOSA, J. N. Avaliação de dez linhagens e seus híbridos de milho superprecoce em um dialelo completo. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 2, p. 167-170, 2002.
- 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. 365370, 2002.
- MACHADO, J. C.; SOUZA, J. C.; RAMALHO, M. A. P.; LIMA, J. L. Stability of combining ability effects in maize hybrids. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 4, p. 494-498, 2009.
- MELO, W. M. C.; VON PINHO, R. G.; FERREIRA, D. F. Capacidade combinatória genética em híbridos comerciais de milho. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 4, p. 821-830, 2001.
- OLIBONI, R.; FARIA, M. V.; NEUMANN, M.; BATTISTELLI, G. M.; TEGONI, R. G.; RESENDE, J. T. V. Genetic divergence among maize hybrids and correlations with heterosis and combining ability. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 34, n. 1, p. 37-44, 2012.
- OLIVEIRA, J. P.; CHAVES, L. C.; DUARTE, J. B.; BRASIL, E. M.; FERREIRA JÚNIOR, L. T.; RIBEIRO, K. O. Teor de proteína no grão em população de milho de alta qualidade protéica e seus cruzamentos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 34, n. 1, p. 45-51, 2004.
- PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G.; REIFSCHNEIDER, F. J. B.; GUIMARÃES, P. E. O. Avaliação da capacidade de combinação de dez linhagens de milho doce. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 9, n. 2, p. 71-73, 1991.
- PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BOREN, A. *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: UFV, 1999. p. 429-478.

- PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; GUIMARÃES, P. S.; LÜDERS, R. R.; GALLO, P. B.; SOUZA, A. P.; LABORDA, P. R.; OLIVEIRA, K. M. Capacidade combinatória, divergência genética entre linhagens de milho e correlação com heterose. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 3, p. 639-648, 2008.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia. Fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.
- PFANN, A. Z.; FARIA, M. V.; ANDRADE, A. A.; NASCIMENTO, I. R.; FARIA, C. M. D. R.; BRINGHENTTI, R. M. Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 128-134, 2009.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. *Experimentação em genética e melhoramento de plantas*. Lavras: UFLA, 2005. 322 p.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. *Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.
- 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, v. 30, n. 5, p. 683-686, 1995.
- TROYER, A. F. Background of U.S. hybrid corn. *Crop Science*, Madison, v. 39, n. 3, p. 601-626, 1999.
- VEIGA, R. D.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência dos dialelos circulantes na escolha dos genitores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1395-1406, 2000.

