

AVALIAÇÃO DE LINHAGENS S3 DE MILHO POR MEIO DE TESTADORES ADAPTADOS À SAFRINHA¹

LUIZ RAFAEL CLOVIS^{2*}, CARLOS ALBERTO SCAPIM³, RONALD JOSÉ BARTH PINTO³, EDSON BOLSON⁴,
HENRIQUE JOSÉ CAMARGO SENHORINHO⁴

RESUMO - Diversas instituições têm se dedicado ao melhoramento genético do milho safrinha devido ao visível e crescente aumento na área destinada ao seu plantio. Poucos híbridos presentes no mercado são adaptados às condições ambientais de outono-inverno. O objetivo do presente trabalho foi identificar linhagens adaptadas à condição de Safrinha por meio da análise da capacidade de combinação de 50 linhagens S3 de milho desenvolvidas pela Universidade Estadual de Maringá. Estas linhagens foram cruzadas em *Topcross* com dois híbridos adaptados à Safrinha (P30K75 e AG9040), utilizados como testadores. Avaliou-se o florescimento masculino/feminino e a produtividade de grãos (kg ha⁻¹), com correção para stand (65.000 plantas) e umidade (14,5%), para três locais representativos da região oeste do Paraná. O testador AG9040 foi o melhor na contribuição para maiores produtividades de grãos em seus *topcrosses*. A linhagem 30 apresentou alta capacidade geral de combinação (CGC) para produtividade de grãos nos três ambientes estudados. O cruzamento AG9040 x linhagem 49 obteve estimativas relevantes de capacidade específica de combinação (CEC) para produtividade de grãos em Toledo e Palotina. O cruzamento AG9040 x linhagem 38 obteve relevante CEC para produtividade de grãos e florescimento masculino e feminino em Tupãssi. Como o testador P30K75 se destacou em cruzamento com a linhagem 27, recomenda-se que esta seja utilizada como testadora de linhagens provenientes do híbrido comercial P30K75. Analogamente, como o testador AG9040 se destacou no cruzamento com a linhagem 48, a mesma pode ser utilizada como testadora de novas linhagens oriundas do híbrido comercial AG9040.

Palavras-chave: Melhoramento genético. *Topcross*. Segunda safra. *Zea mays*.

EVALUATION OF S3 MAIZE INBRED LINES FOR OFF-SEASON CROPPING WITH TESTERS ADAPTED

ABSTRACT - Several breeding programs aim to develop superior maize genotypes able to be explored in off-season cropping, mainly due to the increased area under maize produced in alternative season. Few hybrids on the market are adapted to the environmental conditions of autumn-winter. The objective of this study was to identify the inbred lines adapted to off-season condition, by the analysis of combining ability of 50 S3 maize inbred lines, developed by the Maringá State University. These inbred lines were crossed with two adapted hybrids (AG9040 and P30K75), used as testers. The male and female flowering time and also the grain yield (kg ha⁻¹) adjusted for moisture (14,5%) and stand (65.000 plants) were evaluated in 3 locations of the western region of Paraná. The tester AG9040 presents itself as the best to contribute to high grain yields in their *topcrosses*. The line 30 had high general combining ability for yield in the three environments. The crossing line AG9040 x 49 obtained significant estimates of specific combining ability (SCA) for grain yield in Toledo and Palotina. Also, there is the crossing line AG9040 x 38 to obtain relevant SCA for yield and flowering Tupãssi in male and female. With the tester 30K75 mainly determined by the intersection with the line 27, so it is recommended that this inbred line can be used as tester lines from the commercial hybrid 30K75. With the tester AG9040 mainly determined by the intersection with the line 48, therefore, these lines can be used as a new tester inbred lines derived from commercial hybrid AG9040.

Keywords: Breeding program. *Topcross*. Second crop. *Zea mays*.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 03/06/2013; aceito em 21/08/2014.

Parte do trabalho da dissertação de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas do primeiro autor.

²Engenheiro-Agrônomo. Mestre. Pós-graduando. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade Estadual de Maringá - UEM. Avenida Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil, luizrafaelc clovis@hotmail.com.

³Engenheiro-Agrônomo. Professor Doutor. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade Estadual de Maringá - UEM. Maringá, Paraná, Brasil.

⁴Engenheiros-Agrônomos. Mestres. Pós-graduandos. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas. Universidade Estadual de Maringá - UEM. Maringá, Paraná, Brasil.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho exerce importância fundamental no agronegócio (GASQUES, 2012). Segundo a *International Grains Council* (IGC, 2014), foram esperadas colheitas recordes de milho em muitos dos principais produtores mundiais. A produção total estimada foi de 963 milhões de toneladas para a safra 2013/2014. No Brasil, segundo estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2014), 77,88 milhões de toneladas corresponderam à cultura do milho, sendo que a primeira safra contribuiu com 32,22 milhões de toneladas (41%) e a segunda com 45,66 milhões de toneladas (59%). As projeções também indicaram que a área destinada ao plantio de milho, contemplando as duas safras, foram de aproximadamente 15,73 milhões de hectares, sendo que a segunda safra de milho contribuiu com 9,03 (57%) milhões de hectares.

Apesar da grande importância da segunda safra, observou-se que grande número das cultivares disponíveis no mercado foram destinadas à primeira safra, necessitando de programas de melhoramento com fim à obtenção de linhagens e híbridos adaptados aos ambientes de cultivo da safrinha, período no qual há riscos de geadas, déficit hídrico e diminuição do fotoperíodo (BOLSON, 2011).

Em um programa de melhoramento para a obtenção de híbridos estão envolvidas pelo menos quatro etapas: a escolha de populações; a obtenção de linhagens; a avaliação da capacidade de combinação das mesmas; e testes extensivos das combinações híbridas obtidas (PATERNIANI; CAMPOS, 1999). O sucesso de um programa de melhoramento de milho visando a obtenção de híbridos está intimamente ligado à identificação da população mais promissora para extração de linhagens (LIMA *et al.* 2000). Diante disto, várias são as opções de populações que podem ser utilizadas para a extração de linhagens para a produção de híbridos. Uma das alternativas é a utilização de gerações avançadas de híbridos simples comerciais, por apresentarem alta produtividade e grande proporção de locos favoráveis já fixados (AMORIM; SOUZA, 2005).

O objetivo deste trabalho fundamentou-se na identificação de linhagens adaptadas às condições de safrinha por meio de estimativas da capacidade de combinação entre os testadores e linhagens para produtividade de grãos e florescimento masculino e feminino, obtidos por *topcrosses* com dois híbridos adaptados a safrinha (P30K75 e AG9040).

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, correspondente ao verão do ano agrícola 2010/2011, foram realizados os cruzamentos das 50 linhagens S₃, com os dois testado-

res, para a obtenção dos híbridos *topcrosses*. Na segunda etapa, correspondente a safrinha de 2011, foram instalados os experimentos para a avaliação dos híbridos *topcrosses* em três locais com duas repetições. Para as linhagens *per se*, por sua vez, foi instalado um experimento com duas repetições em um local. Para a obtenção dos híbridos *topcrosses* foram realizados os cruzamentos manuais entre as 50 linhagens S₃ e os dois testadores, os híbridos comerciais 30K75 e o AG9040 em um esquema de dialelo parcial. Esses testadores foram eleitos pela extensão da área cultivada durante os anos.

Os experimentos foram realizados e conduzidos em três locais: Palotina (Latitude 24°12'S e Longitude 53°50'30''O); Toledo (Latitude 24°42'50''S e Longitude 53°44'34''O); e Tupãssi (Latitude 24°35'16''S e Longitude 53°30'42''O). Os ambientes utilizados no presente estudo representam o cenário da safrinha na região Oeste do estado do Paraná, o qual se caracteriza por ser um ambiente com alto risco de geadas e frio, além de apresentar produtores que adotam alta tecnologia aliada ao uso de híbridos superprecoces produtivos e resistentes a doenças.

A semeadura dos experimentos, em todos os ambientes, foi realizada no sistema de plantio direto, sob os restos da cultura da soja, sob delineamento experimental de blocos completos, com tratamentos ao acaso e duas repetições. Cada unidade experimental (parcela) foi constituída por duas fileiras de 5 metros, com espaçamento de 0,20 metros entre as plantas dentro da fileira e 0,70 metros de espaçamento entre as fileiras. Cada parcela apresentou área útil de 7m². A densidade de semeadura adotada foi de 65.000 plantas por hectare. Estes experimentos foram usados para avaliar a produtividade dos híbridos *topcrosses*, provenientes dos cruzamentos com as 50 linhagens, e também a capacidade geral e específica de combinação.

No município de Palotina, o experimento contemplou não só os *topcrosses* com os dois testadores, mas também as linhagens *per se* quanto aos mesmos caracteres. Nos demais locais, os *topcrosses* foram avaliados somente quanto à produtividade de grãos. Para avaliar o florescimento masculino e feminino foram coletadas as datas que cada tratamento (genótipos) obteve 50% das plantas liberando pólen viável e 50% das plantas com estigma receptivo, por ocasião do florescimento masculino e feminino.

Para a determinação da produtividade de grãos foram colhidas as parcelas correspondentes a cada material devidamente identificado e, posteriormente, realizada a debulha e a aferição da umidade. Os dados referentes à produtividade de grãos foram corrigidos para t.ha⁻¹ com umidade padrão de 14,5% base úmida.

Inicialmente, os testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov foram aplicados para examinar as condições de homogeneidade de variâncias e normalidade dos erros, respectivamente. Uma vez atendidos os pressupostos iniciais, as análises de variância foram

procedidas individualmente para os experimentos dos *topcrosses* de cada testador e para o experimento das linhagens *per se*.

Para cada testador foi realizada ainda a análise conjunta para a produtividade de grãos. A partir das esperanças matemáticas dos quadrados médios foram estimados os componentes de variância e os parâmetros genéticos e fenotípicos. Por meio dos componentes de variância foram estimados parâmetros genéticos. As análises dos dados foram realiza-

das com o auxílio do *software* Genes (CRUZ, 2013).

A análise do dialelo parcial foi realizada a partir das médias dos tratamentos ajustados, utilizando o modelo proposto por Griffing (1956) e adaptado por Geraldi e Miranda Filho (1988) aos cruzamentos dialélicos parciais. Foram avaliadas *pq* combinações híbridas, sendo *p* linhagens (Grupo 1) e *q* testadores (Grupo 2). A origem das linhagens está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Pedigree das linhagens de milho utilizadas para obtenção dos *topcrosses* incluindo os híbridos comerciais dos quais foram extraídas as linhagens. UEM – Maringá, 2010.

Nº	Pedigree	Origem	Nº	Pedigree	Origem
1	A1.3@11.4@15.5@	AG8088	26	K18.2@34.2@15.3@	DKB747
2	A17.3@3.3@12.1@	AG8088	27	K21.2@6.3@12.5@	DKB747
3	F2.3@9.3@10.5@	FÓRMULA	28	K21.3@32.4@4.2@	DKB747
4	F3.4@11.4@20.5@	FÓRMULA	29	K26.3@17.2@8.5@	DKB747
5	F10.2@12.4@16.5@	FÓRMULA	30	K3.3@33.4@20.2@	DKB747
6	D12.8@10.2@2.5@	DKB390	31	K3.5@37.2@21.4@	DKB747
7	D15.3@32.3@12.4@	DKB390	32	K25.4@21.2@34.5@	DKB747
8	S7.5@41.2@6.5@	SPEED	33	T1.4@4.3@2.5@	TORK
9	S9.3@12.5@9.3@	SPEED	34	T3.2@5.1@3.4@	TORK
10	S10.2@20.3@12.4@	SPEED	35	T7.2@9.4@7.2@	TORK
11	S12.2@10.3@7.1@	SPEED	36	T11.5@13.1@11.3@	TORK
12	S13.2@22.5@15.2@	SPEED	37	W12.2@3.3@10.2@	30F33
13	S6.3@2.2@3.5@	SPEED	38	W14.1@10.2@3.3@	30F33
14	S5.2@13.4@10.2@	SPEED	39	W4.5@11.4@12.1@	30F33
15	S20.4@6.1@8.5@	SPEED	40	W8.3@20.1@22.2@	30F33
16	S21.2@11.5@17.2@	SPEED	41	W2.1@7.4@9.5@	30F33
17	G8.1@4.6@10.5@	AG8060	42	W17.2@8.1@17.1@	30F33
18	SP13.2@2.4@8.5@	SPRINT	43	W21.2@16.1@2.1@	30F33
19	SP10.2@11.3@7.3@	SPRINT	44	J21.2@23.3@12.3@	AS1590
20	K27.2@3.5@7.2@	DKB747	45	M8.2@21.5@7.4@	30F98
21	K23.3@4.7@9.4@	DKB747	46	M23.1@11.4@9.5@	30F98
22	K23.5@5.3@10.5@	DKB747	47	M16.5@20.2@16.1@	30F98
23	K12.6@7.1@6.6@	DKB747	48	M29.1@15.2@1.6@	30F98
24	K13.2@8.3@30.6@	DKB747	49	M11.2@3.2@5.5@	30F98
25	K17.3@31.4@11.5@	DKB747	50	M14.1@4.5@2.1@	30F98

O modelo estatístico adotado foi $Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$, em que: Y_{ij} - valor médio da combinação híbrida entre o *i*-ésimo testador e a *j*-ésima linhagem; μ - média geral; g_i - efeito da capacidade geral de combinação do *i*-ésimo testador; g_j - efeito da capacidade específica de combinação da *j*-ésima linhagem; s_{ij} - efeito da capacidade específica de combinação entre *i*-ésimo testador e a *j*-ésima linhagem; e e_{ij} - erro experimental médio. Utilizou-se o programa GENES (CRUZ, 2013) para realizar a análise dialélica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho, os coeficientes de variação para as variáveis respostas produtividade de grãos e florescimento masculino e feminino, como observado na Tabela 2, estão dentro dos limites aceitáveis para a experimentação agrícola (FRITSCHENETO *et al.* 2012). Estes resultados indicam grande precisão na condução do experimento e na coleta dos dados (SCAPIM *et al.* 1995).

As análises de variância correspondentes aos experimentos com os híbridos *topcrosses* e linhagens

per se estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3. As análises individuais são de grande importância, pois possibilitam a avaliação da magnitude da variabilidade genética e também das discrepâncias entre as variâncias residuais obtidas em cada ambiente. A partir destas, são verificados que os

quadrados médios (QM) dos *topcrosses* e das linhagens *per se* foram significativos ($p < 0,05$), o que indica variabilidade genética para as características estudadas e a seleção e avanço das linhagens promissoras.

Tabela 2. Análises de variância para produtividade de grãos (kg ha^{-1})² e florescimento (d)² dos híbridos *topcrosses* obtidos na Safrinha de 2011 – UEM.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios				
		Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) ²			Florescimento	
		Toledo	Tupãssi	Palotina	FM (d) ²	FF (d) ²
<u>Testador 1 (P30K75)</u>						
Blocos	1	864317,9	1248426,3	2691161,5	0,36	0,00
<i>Topcrosses</i>	49	1347914,8*	1459961,5*	1817085,2*	5,61*	6,3*
Resíduo	49	399276,1	700573,7	709739,4	0,63	0,69
Média		6684,02	7750,13	8270,2	64	64,4
Mínimo		4381,96	5805,66	5706,4	60	60
Máximo		9307,5	10776,36	11381,0	68	69
Cve		9,4	10,8	10,2	1,2	1,3
<u>Testador 2 (AG9040)</u>						
Blocos	1	26352,65	22849,04	230179,25	0,09	0,00
<i>Topcrosses</i>	49	1961191,74*	5177249,8*	3768195,39*	2,59*	2,31*
Resíduo	49	499708,89	583479,27	1213888,97	0,62	0,73
Média		7211,75	9051,98	8585,8	60,1	60,74
Mínimo		4147,51	4242,57	4082,34	59	59
Máximo		9207,84	12166,97	11385,38	63	64
CVe		9,8	8,4	12,8	1,3	1,4

* $p < 0,05$; FM: Florescimento masculino; FF: Florescimento feminino.

Tabela 3. Análise de variância para produtividade de grãos (kg ha^{-1})² e florescimento (d)² das linhagens *per se* em Palotina obtidos na Safrinha de 2011.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios		
		Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) ²	Florescimento	
		Palotina	FM (d) ²	FF (d) ²
<u>Linhagens <i>per se</i></u>				
Blocos	1	1104083,97	0,16	0,04
Linhagens	49	1962414,04*	37,9*	47,97*
Resíduo	49	769751,66	0,44	0,45
Média		3625,69	67,04	68,46
CVe		24,2	0,99	0,98

* $p < 0,05$; FM: Florescimento masculino; FF: Florescimento feminino.

Com a utilização do testador P30K75, as médias de produtividade de grãos obtidos com os híbridos *topcrosses* variaram entre 6684,02 kg ha⁻¹ em Toledo e 8270,20 kg ha⁻¹ em Palotina. Também com boas médias, a produtividade de grãos dos híbridos *topcrosses* oriundos do testador AG9040 situou-se entre 7211,75 kg ha⁻¹ em Toledo e 9051,98 kg ha⁻¹ em Tupãssi.

A média da produtividade de grãos das linhagens *per se* foi de 3625,69 kg ha⁻¹ (Tabela 3). O referido valor se aproximou à produtividade brasileira média esperada para o milho safrinha 2013/2014, de 5040 kg/ha, devido ao pacote tecnológico utilizado pelos produtores ao uso de sementes de qualidade, possibilidade de clima favorável, utilização de maquinário adequado e assistência técnica contínua (CONAB, 2014). Nota-se que o uso de testadores proporcionou um incremento de produtividade de grãos, indicando que a heterose foi fundamental para o resultado alcançado, quando comparado com os valores das linhagens *per se*.

Quanto aos dados de florescimento, coletados em Palotina, observa-se que as médias foram, respectivamente, de 64 e 64,4 dias para o florescimento masculino e feminino dos híbridos *topcrosses* com o testador P30K75. Porém, os híbridos *topcrosses* com

o testador AG9040 apresentaram médias relativamente mais baixas, manifestando valores de 60,1 e 60,7 dias, respectivamente, para florescimento masculino e feminino. As linhagens *per se*, por sua vez, apresentaram médias de 67,04 dias para o florescimento masculino e 68,46 dias para o florescimento feminino.

Evidenciou-se, portanto, que o testador AG9040 proporcionou em suas combinações híbridas um florescimento mais precoce, quando comparado com o testador P30K75. O testador AG9040 classifica-se como híbrido simples superprecoce e, nesse contexto, fica evidente a importância da escolha de testadores que possam discriminar e promover seleção de linhagens por mérito próprio. Consta-se, portanto, que o testador AG9040 não se fundamenta como eficiente para discriminar as linhagens trabalhadas para o caráter florescimento, pois aumenta os valores reais. Por outro lado, com o testador P30K75, observa-se que os valores médios de florescimento foram superiores, mostrando que a avaliação das linhagens *per se*, quanto ao florescimento, é mais eficiente na discriminação dos genótipos.

Na Tabela 4, estão apresentados os dados da análise conjunta para o caráter produtividade de grãos.

Tabela 4. Análise de variância conjunta para produtividade de grãos dos híbridos *topcrosses* obtidos na safrinha de 2011.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios	
		Testador 1 (P30K75)	Testador 2 (AG9040)
<i>Topcrosses</i>	49	2389946,5*	7907015,1*
Ambientes	2	65384194,5*	91529465,8*
<i>Topcrosses</i> × ambientes	98	1117507,4*	1499810,9*
Blocos (ambientes)	3	1601301,9	93126,9
Resíduo	147	603196,4	765692,4
Média		7568,1	8283,2
CVe		10,2	10,6

* p < 0,05 pelo teste F.

Observa-se que na amostra o testador AG9040 apresentou a maior média de produtividade de grãos, com aproximadamente 715 kg por hectare a mais que os híbridos *topcrosses* com o testador P30K75. Portanto, a partir da análise de variância conjunta, para ambos os testadores, os *topcrosses* comportam-se de modo diferenciado quanto a variável resposta produtividade de grãos e as produtividades nos diversos experimentos foram diferentes e, além disso, o comportamento dos *topcrosses* não é o mesmo nos diferentes experimentos. Os coeficientes de variação experimental (CVe) mostraram-se baixos,

indicando que a maior parte da variação entre os híbridos *topcrosses* se deve ao valor genético das linhagens e testadores trabalhados.

Estão apresentadas, nas Tabelas 5, 6 e 7, as estimativas de variância genética ($\hat{\sigma}^2_g$), variância fenotípica ($\hat{\sigma}^2_f$), herdabilidade (\hat{h}^2), coeficiente de variação genética (CVg) e a relação entre coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação experimental (CVg/CVe) das linhagens *per se*, dos híbridos *topcrosses* e da análise conjunta, respectivamente.

Tabela 5. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para as características avaliadas nas linhagens *per se* em Palotina. Safrinha 2011.

Estimativas de Parâmetros	Características Avaliadas		
	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) ²		Florescimento
	Palotina		FM (d) ² FF (d) ²
	Palotina		Palotina
<u>Linhagens <i>per se</i></u>			
$\hat{\sigma}^2 f$	981207,02		18,95 23,98
$\hat{\sigma}^2 g$	596331,20		18,73 23,76
\hat{h}^2	0,60		0,99 0,99
CVg	21,3		6,45 7,12
CVg/Cve	0,88		6,48 7,28

FM: Florescimento masculino; FF: Florescimento feminino.

Tabela 6. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para as características avaliadas nos híbridos *topcrosses* com os testadores P30K75 e AG9040. Safrinha 2011.

Estimativas de Parâmetros	Características Avaliadas			
	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) ²			Florescimento
	Toledo	Tupãssi	Palotina	FM (d) ² FF (d) ²
	Palotina			Palotina
<u>Testador 1 (P30K75)</u>				
$\hat{\sigma}^2 f$	673957,41	729980,77	908542,58	2,80 3,14
$\hat{\sigma}^2 g$	474319,33	379693,93	553672,88	2,49 2,79
\hat{h}^2	0,71	0,52	0,61	0,90 0,89
CVg	10,3	7,95	9,00	2,46 2,59
CVg/Cve	1,09	0,73	0,88	1,9 2,00

Testador 2 (AG9040)

$\hat{\sigma}^2 f$	980595,87	2588624,90	1884097,69	1,30 1,15
$\hat{\sigma}^2 g$	730741,42	2296885,27	1277153,21	0,98 0,79
\hat{h}^2	0,75	0,90	0,70	0,77 0,70
CVg	11,8	16,7	13,0	1,64 1,50
CVg/Cve	1,21	1,98	1,03	1,26 1,04

Tabela 7. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em análise conjunta para as características avaliadas nos híbridos *topcrosses*. Safrinha 2011.

Parâmetros	Testador P30K75	Testador AG9040
$\hat{\sigma}^2 g$	212073,2	1067867,4
\hat{h}^2	0,53	0,81
CVg	6,1	12,5
CVg/Cve	0,6	1,2

A relação entre os coeficientes de variação genética e os coeficientes de variação experimental indica que grande parte da variação ocorrida foi em consequência da variância genética, e não pela variância experimental, para as variáveis respostas em questão.

A manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob a influência do meio no qual se desenvolve (PINTO, 2009). Portanto, quando considera-se uma série de ambientes observa-se, além dos efeitos genéticos dos materiais em estudo e dos efeitos ambientais, um efeito adicional, que é a interação destes (HALLAUER *et al.*, 2010). Esta interação é de fundamental importância, pois quando significativa existe a possibilidade de um genótipo com desempenho excelente em um determinado ambiente não o ser em outro, influenciado na recomendação de cultivares de ampla adaptabilidade.

Em relação a variável produtividade de grãos, a maior variância genética ocorreu quando o testador utilizado foi o AG9040, o qual promoveu a maior liberação de variabilidade genética nos híbridos *topcrosses*, superando em aproximadamente quatro vezes a variância genética encontrada nas linhagens *per se*, indicando que o referido testador constituiu-se como o mais apropriado para discriminar as linhagens com potencial de produtividade de grãos. Observa-se claramente que para este testador encontram-se as maiores variâncias genéticas em todos os am-

bientes estudados. Este fato pode ser consolidado por meio das estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em análise conjunta, em que o testador AG9040 apresenta a variância genética aproximadamente cinco vezes maior que o testador P30K75 (Tabela 7). Nas estimativas de herdabilidade foi constatado que seus índices foram muito próximos em Toledo, independente do testador utilizado. Por sua vez, nos demais locais, Tupãssi e Palotina, os maiores valores de herdabilidade foram obtidos com o testador AG9040.

Referente ao caráter florescimento, observa-se que a variabilidade nas linhagens *per se* ($\hat{\sigma}^2_g$ masculina = 18,73 $\hat{\sigma}^2_g$ feminina = 23,76) foram superiores, comparadas com as estimativas dos híbridos *topcrosses* de ambos os testadores, como observado nas Tabelas 5 e 6. Portanto, ambos os testadores não discriminam de maneira satisfatória a variável resposta florescimento das linhagens.

De acordo com estas avaliações, o testador AG9040 foi o mais apropriado para discriminar as linhagens para produtividade de grãos. Por sua vez, avaliações subsequentes são pertinentes por possibilitar a identificação das linhagens promissoras com alta capacidade geral de combinação.

O resumo das análises dialélicas parciais para as variáveis respostas produtividade de grãos e florescimento masculino e feminino estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Análise dialélica parcial por local. Safrinha 2011 – UEM.

FV	GL	Quadrados Médios				
		Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) ²			Florescimento	
		Toledo	Tupãssi	Palotina	FM (d) ²	FF (d) ²
<i>Topcrosses</i>	99	1778499,7*	4141064,6*	2814730,8*	10,90*	11,02*
CGC(testadores)	1	13925253,7*	84742038,1*	4979606,2*	680,8*	669,78*
CGC(linhagens)	49	1528481,6*	3497935,8*	3111531,7*	5,90*	5,60*
CEC	49	1780624,9*	3139275,5*	2473748,9*	2,30*	2,99*
Resíduo	49	449492,5	642026,5	961814,2	0,62	0,71

FM: Florescimento masculino; FF: Florescimento feminino; *p < 0,10; ns: não significativo (p > 0,10).

Segundo a análise da variância da produtividade de grãos e florescimento das combinações híbridas resultantes do cruzamento dialélico entre as linhagens e os testadores em estudo, observou-se que houveram diferenças significativas para as características estudadas (p < 0,10) e para a capacidade geral de combinação (CGC) das linhagens e testadores. Observou-se que a variabilidade aditiva, expressa pelos quadrados médios da CGC, é comparativamente maior que a não aditiva. Contudo, a significância dos efeitos aditivos foi manifestada de forma mais expressiva pelos testadores, tanto para a produtivida-

de de grãos quanto para o florescimento.

Esta significância observada para a capacidade geral de combinação (CGC) das linhagens é de grande importância para o programa de melhoramento, pois expressa que no mínimo uma linhagem possui destacada CGC (\hat{G}_i) em relação às demais. Por parte dos testadores (Tabela 8), a significância apresentada para os caracteres estudados indica que os testadores em questão diferenciaram-se quanto à contribuição genética para os *topcrosses*. Desta maneira, as linhagens, em combinações híbridas com os diferentes testadores, apresentaram *performances*

diferenciadas.

A análise dialélica conjunta, avaliadas em diferentes ambientes, permitiu quantificar a capacidade geral e específica de combinação, bem como

suas interações com o ambiente. Assim, observa-se na Tabela 9 a análise dialélica conjunta para a produtividade de grãos.

Tabela 9. Análise dialélica parcial conjunta para produtividade de grãos. Safrinha 2011 – UEM.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio
<i>Topcrosses</i>	99	5871188,2*
CGC (testadores)	1	76696513,3 ^{ns}
CGC (linhagens)	49	4743362,1*
CEC	49	5553599,4*
Ambientes	2	143438467,9*
<i>Topcrosses</i> × ambientes	198	1431553,5*
CGC (testadores) × ambientes	2	13475192,4*
CGC (linhagens) × ambientes	98	1697293,5*
CEC × ambientes	98	920024,9*
Resíduo combinado	147	684444,0

* p < 0,05 pelo teste F; ns p > 0.05 pelo teste F.

A capacidade geral de combinação das linhagens foi significativa (p<0,10), como também nas análises individuais, para produtividade de grãos. Isto representa a possibilidade de seleção entre as linhagens, pois uma ou mais linhagens possui estimativas de CGC (\hat{g}_i) diferenciada. Diferentemente das análises individuais, não houve diferença significativa na capacidade geral de combinação dos testadores (p>0,10). Por sua vez, a interação CGC (testadores) x ambiente apresentou-se significativa (p<0,10), denotando a importância da interação existente, em que os testadores contribuem para os *topcrosses* de forma diferenciada conforme o ambiente.

Houve diferença significativa (p<0,10) quanto ao efeito de interação CGC (linhagens) x ambientes,

mostrando que o comportamento médio das linhagens em seus híbridos, quanto ao seus efeitos aditivos, diferenciaram-se de acordo com o ambiente no qual foram cultivados. Este fato expõe a importância do desenvolvimento de experimentos avaliando a CGC das linhagens com o objetivo de identificar as promissoras em diversos locais, pois uma destas pode se apresentar superior em um local e outro não.

Na Tabela 10 estão apresentadas as estimativas da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) dos testadores (P30K75 e AG9040) para a produtividade de grãos e florescimento masculino e feminino com o objetivo de identificar os testadores que permitem discriminar as linhagens corretamente, quanto ao seu mérito genético.

Tabela 10. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) dos testadores para produtividade de grãos e florescimento masculino e feminino. Safrinha 2011 – UEM.

Testador	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) ²			Florescimento	
	Toledo	Tupãssi	Palotina	Masculino (d) ²	Feminino (d) ²
P30K75 (1)	-263,87*	-650,93*	-157,79*	1,85*	1,83*
AG9040 (2)	263,87*	650,93*	157,79*	-1,85*	-1,83*
DP (\hat{g}_i)	47,41*	56,66*	69,35*	0,06*	0,06*
DP ($\hat{g}_i - \hat{g}_i'$)	94,82*	113,32*	138,70*	0,12*	0,12*

*: estimativas da CGC dos testadores significativas (p < 0.05 pelo teste F); DP: desvio padrão.

O testador AG9040 foi o mais apropriado para discriminar linhagens para produtividade de grãos, independente do ambiente cultivado, como o caso de Toledo, que apresenta condições climáticas de grande risco ao cultivo de milho safrinha por apresentar grande risco de geadas. Quanto ao florescimento, é sabido que o desejado para as condições de safrinha é obter linhagens precoces e superprecoces devido aos riscos de geadas e estresses hídricos

(BOLSON, 2011). Assim, \hat{g}_i negativos são desejáveis para florescimento, pois indicam que as linhagens tendem à precocidade.

Contudo, os resultados observados (Tabela 10) indicam que o Testador AG9040 aumenta os valores reais dos *topcrosses*, por ser um híbrido superprecoce, uma vez que o desempenho dos híbridos *topcrosses* foram condicionados por ele. Assim, o testador em questão não discrimina corretamente as

linhagens para o quesito florescimento de maneira satisfatória, ou seja, não permite avaliar o caráter por mérito genético das próprias linhagens. Mesmo com \hat{g}_i positivos, o testador P30K75 se mostra mais adequado em discriminar as linhagens por mérito próprio, por não induzir a precocidade.

De acordo com Sprague e Tatum (1942), as estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) das linhagens definem o comportamento médio de um progenitor em uma série de combinações híbridas, referindo-se ao efeito genético aditivo do progenitor, o qual reflete a porção do genótipo capaz de ser transferida a seus descendentes de maneira satisfatória, independente de qual seja o outro progenitor participante no cruzamento.

Segundo Rodvalho *et al.* (2012), para a variável resposta produtividade de grãos são desejadas estimativas altas e positivas para os efeitos de capacidade geral de combinação para as linhagens, em duas vezes o valor de Desvio Padrão calculado para \hat{g}_i , no mínimo (Tabela 11). Quando as estimativas atendem este quesito elas indicam que as linhagens em estudo proporcionam um acréscimo de produtividade de grãos em seus híbridos *topcrosses* (WERLE *et al.*, 2014). Contudo, como abordado anteriormente, são desejados valores negativos para as variáveis, tais como florescimento masculino e feminino, pois indicam que a linhagem proporcionou melhoria na precocidade dos híbridos *topcrosses* (Tabela 11).

Tabela 11. Estimativas de capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) das linhagens para rendimento de grãos e florescimento masculino e feminino. Safrinha 2011 – UEM.

Linhagens	Rendimento (kg ha ⁻¹)			Florescimento	
	Toledo	Tupãssi	Palotina	FM (d)	FF (d)
6	1460,22*	-582,25	-336,18	-0,41	-0,57
12	693,06*	-35,48	-995,84	-0,91*	-1,82*
13	-604,45	68,67	1243,08*	-0,41	0,18
17	-240,85	2361,21*	1012,29*	1,35	0,68
19	26,09	1089,51*	-213,48	0,85	1,43
24	394,71	159,37	1723,36*	1,6	1,18
25	295,81	1257,88*	1794,17*	0,1	-0,07
26	267,27	1256,47*	953,35	2,6	3,18
30	693,32*	1215,33*	1271,46*	1,6	1,43
33	198,81	2337,44*	-17,45	2,6	2,18
35	1609,25*	552,97	-398,01	1,1	0,93
36	627,19	-194,84	1586,78*	-0,16	0,18
37	1051,09*	197,93	-469,01	0,6	0,18
38	540,09	1410,45*	563,59	0,6	0,43
39	1030,81*	1007,93*	551,49	-0,41	-0,32
42	581,98	986,61*	935,93	-2,16*	-1,32*
47	-89,26	990,05*	705,2	1,35	1,18
49	-109,07	-516,05	1408,81*	-0,66	-0,07
DP (\hat{g}_i)	331,85	396,61	485,43	0,39	0,42
DP ($\hat{g}_i - \hat{g}_i'$)	474,07	566,58	693,48	0,55	0,60
2 x DP (\hat{g}_i)	663,70	793,22	970,86	0,78	0,84

*: estimativas relevantes; FM: Florescimento Masculino; FF: Florescimento Feminino; DP: Desvio Padrão.

As linhagens 6, 12, 13, 17, 19, 24, 25, 26, 30, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 47 e 49 foram consideradas promissoras dentre as linhagens avaliadas (Tabela 11). Após a identificação das linhagens promissoras à condição de safrinha foi realizada a classificação destas em grupos macho e fêmea, desejan-

do-se machos com grande capacidade de produção de grãos de pólen e fêmeas com grande produtividade e bom tamanho de grãos (BOLSON, 2011). As linhagens superprecoces foram utilizadas como machos e as linhagens precoces como fêmeas. Isto ocorreu devido a necessidade da genitora fêmea ser mais

produtiva que o macho para tornar viável a produção de sementes comerciais, uma vez que estas linhagens precoces apresentaram maior capacidade de produção de sementes, quando comparado com às super-precoces (RISSI; HALLAUER, 1991).

Portanto, por mais que em S3 seja muito cedo para prever esse êxito, sugere-se, neste trabalho, que as linhagens 6, 13, 17, 19, 24, 25, 26, 30, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 47 e 49 sejam utilizadas como fêmeas e as linhagens 12 e 42 utilizadas como machos em cruzamentos híbridos (Tabela 11).

A capacidade específica de combinação (CEC) refletiu o efeito de interação entre os alelos procedentes de cada parental (ação gênica de dominância) e o efeito das interações entre os alelos de diferentes *locos* envolvidos na transmissão do caráter (ação gênica de epistasia), segundo Souza Neto (2011). Tais efeitos genéticos não aditivos não podem ser previstos com base na CGC, ou seja, antes

de ser realizado o cruzamento.

Em análises dialélicas devem ser consideradas, para fins de recomendação e melhoramento, apenas as estimativas de capacidade específica de combinação oriundas de cruzamentos que envolvam, no mínimo, uma linhagem de capacidade geral de combinação (CGC) relevante (CRUZ; REGAZZI, 1994). Assim, considerando apenas os cruzamentos das linhagens promissoras para a CGC (6, 12, 13, 17, 19, 24, 25, 26, 30, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 47 e 49), observou-se que apenas o cruzamento AG9040 x linhagem 49 obteve estimativas relevantes de capacidade específica de combinação (CEC) para produtividade de grãos em Toledo e Palotina. E também, destacou-se o cruzamento AG9040 x linhagem 38 por obter relevante CEC para produtividade de grãos em Tupãssi e florescimento masculino e feminino (Tabela 12).

Tabela 12. Estimativas da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) entre os testadores e as linhagens para rendimento de grãos e florescimento masculino e feminino.

Cruzamento	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)			Florescimento	
	Toledo	Tupãssi	Palotina	FM (d)	FF (d)
30K75 20	1018,91*	742,64	1579,41*	-1,35*	-1,08*
30K75 22	1534,31*	1235,44*	1295,02*	-1,09*	-1,08*
30K75 27	1643,05*	2184,15*	2017,91*	0,16	0,17
30K75 28	876,67*	1890,52*	2240,59*	1,16	1,17
30K75 29	1210,49*	2403,48*	1052,17*	0,41	0,17
30K75 30	54,31	-1037,98	-837,54	0,41	0,67
30K75 31	1278,54*	1639,19*	1300,84*	1,66	1,67
AG9040 38	127,03	995,78*	508,21	-0,91*	-1,17*
AG9040 41	1188,51*	1287,41*	531,88	0,85	0,83
AG9040 48	1171,52*	1509,68*	1310,95*	-0,91*	-0,67
AG9040 49	738,65*	-55,68	970,84*	0,85	1,33
DP (Sij)	331,85	396,61	485,43	0,39	0,42
DP (Sij – Sik)	474,07	566,58	693,48	0,56	0,60
DP (Sij – Skj)	663,70	793,21	970,86	0,78	0,84
DP (Sij – Skl)	464,50	555,13	679,46	0,55	0,59
2 x DP (Sij)	663,70	793,22	970,86	0,78	0,84

*: estimativas relevantes; FM: Florescimento Masculino; FF: Florescimento Feminino; DP: Desvio Padrão.

Com o testador P30K75 destacou-se o cruzamento com a linhagem 27, a qual pode ser utilizada como testador de linhagens provenientes do híbrido comercial P30K75. As médias observadas para a produtividade de grãos dos híbridos *topcrosses* com o testador P30K75 confirmaram esta heterose. Por sua vez, com o testador AG9040 destacou-se o cruzamento com a linhagem 48, uma vez que este obteve estimativas relevantes para a capacidade específica de combinação para produtividade de grãos e flo-

rescimento masculino. A referida linhagem pode ser utilizada como testador de novas linhagens oriundas do híbrido comercial AG9040. As médias observadas para o produtividade de grãos dos híbridos *topcrosses* com o testador AG9040 confirmaram, também, esta heterose alcançada.

A respeito da base genética dos testadores por meio das estimativas da capacidade específica de combinação, nota-se que com o testador P30K75 destacaram-se as linhagens 20, 22, 27, 28, 29 e 31 e,

por sua vez, com o testador AG9040, os cruzamentos com as linhagens 41, 48 e 49 foram os que apresentaram melhores e relevantes resultados. Foi notório que o testador P30K75 obteve alta heterose com linhagens oriundas do híbrido comercial DKB747 e que o testador AG9040 obteve alta heterose com linhagens provenientes dos híbridos comerciais 30F33 e 30F98.

Esses resultados evidenciam que os testadores em questão apresentaram base genética divergentes, com capacidade de gerar heterose destacada com diferentes grupos de linhagens, os quais poderão ser utilizados em programas de melhoramento visando o desenvolvimento de híbridos adaptados a condições de safrinha. Esta heterose pode ser averiguada por meio dos altos valores de produtividade alcançados em seus cruzamentos com ambos os testadores, quando comparados com o produtividade das linhagens *per se*.

Para explorar os efeitos da heterose observados na capacidade específica de combinação em combinações híbridas é importante promover o melhoramento de populações, nas quais os testadores em questão (P30K75 e AG9040) devem ser autofecundados e as melhores progênies de cada população selecionadas e cruzadas com a linhagem testadora específica para cada população, permitindo o desenvolvimento de novas linhagens oriundas dos testadores P30K75 e AG9040 com capacidade geral de combinação, mais especificamente com efeitos aditivos relevantes. Além disso, as combinações favoráveis entre os híbridos comerciais, utilizados como testadores, e as linhagens podem ser utilizadas para fins de melhoramento.

CONCLUSÕES

A linhagem 30 apresentou alta capacidade geral de combinação para produtividade de grãos nos três ambientes. Quanto ao florescimento, a linhagem não contribuiu com a precocidade dos híbridos.

As linhagens 6, 12, 13, 17, 19, 24, 25, 26, 30, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 47 e 49 foram consideradas promissoras dentre as linhagens avaliadas neste estudo.

O cruzamento AG9040 x linhagem 49 obteve estimativas relevantes de capacidade específica de combinação (CEC) para produtividade de grãos em Toledo e Palotina, enquanto o cruzamento AG9040 x linhagem 38 relevante CEC para produtividade de grãos e florescimento masculino e feminino em Tupãssi.

Com os testadores P30K75 e AG9040 destacaram-se os cruzamentos com as linhagens 27 e 48, respectivamente, tornando-as testadoras apropriadas de linhagens provenientes dos respectivos híbridos comerciais, visando a identificação de genótipos de milho adaptados às condições de safrinha.

REFERÊNCIAS

AMORIM, E. P.; SOUZA, J. C. Híbridos de milho inter e intrapopulacionais obtidos a partir de populações S0 de híbridos simples comerciais. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 561-567, 2005.

BOLSON, E. **Capacidade de combinação de linhagens de milho avaliada por meio de testadores adaptados à safrinha**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1 - Safra 2013/14, n. 9 - Nono Levantamento, Brasília, jun. 2014. p. 1-80.

CRUZ, C. D. ; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390 p.

CRUZ, C. D. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

WERLE, A. J. K. et al. Diallel analysis of maize inbred lines for grain yield, oil and protein content. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14 p. 23-28, 2014.

FRITSCHÉ-NETO, R. et al. **Updating the ranking of the coefficients of variation from maize**. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Maringá, v. 34, n. 1, p. 99-101, 2012.

GASQUES, J. G. et al. Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 21, n. 3; 2012.

GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 2, n. 1, p. 419-430, 1988.

GRIFFING, A. R. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal Biological Science**, Victoria, v. 9, p. 463-493. 1956.

HALLAUER, A. R., CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative Genetics in Maize Breeding**. 3 ed., Nova Iorque: Springer, 664 p. 2010.

IGC – International Grains Council. **World Market's maize**. Disponível em: <<http://www.igc.int/es/grainsupdate/sd.aspx?crop=Maize>>. Acesso em: 01 de Ago. 2014.

LIMA, M. W. O. P.; SOUZA, E. A.; RAMALHO, M. A. P. Procedimentos para a escolha de populações de milho para a extração de linhagens. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 153-158, 2000.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 429-486.

PINTO, R.J.B. **Introdução ao melhoramento genético de plantas**. Maringá: EDUEM, 2009. 351 p.

RISSI, R.; HALLAUER, A. R. Evaluation of four testers for evaluating maize (*Zea mays* L.) lines in a hybrid development program. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 2, p. 467-481, 1991.

RODOVALHO, M. A. et al. Comparação de testadores em famílias S2 obtidas do híbrido simples de milho pipoca IAC-112. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 145-154, 2012.

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.

SOUZA NETO, I. L. **Análise dialéctica e depressão por endogamia dos caracteres agronômicos e da qualidade da forragem em milho**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá. 2011.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L.A. General vs. Specific combining ability insigle crosses of corn. **Jornal American Society of Agronomy**, Washinton, D.C, v. 34, p. 923-932, 1942.