

Estratégias de seleção entre progênies meios-irmãos de milho-pipoca no cerrado Tocantinense

Resumo

O estudo de diversidade genética permite a formação de grupos heteróticos, os quais são importantes para direcionar cruzamentos e derivar populações segregantes em programas de melhoramento. Neste sentido, objetivou-se com o presente estudo, determinar a correlação entre atributos produtivos, bem como a divergência genética de progênies de meios-irmãos de milho-pipoca nas condições do cerrado tocantinense. Para isso, conduziu-se um experimento na Universidade Federal do Tocantins, campus Gurupi, no delineamento em blocos casualizados com três repetições, onde os tratamentos foram compostos de 40 progênies de meios-irmãos de milho-pipoca, oriundas da população de milho-pipoca UFT. As progênies de meios-irmãos apresentaram ampla variabilidade genética com relação tanto a capacidade de expansão quanto a produtividade de grãos. As medidas de dissimilaridade genética, estimadas a partir da distância de Mahalanobis apresentaram elevada magnitude, o que também comprovou ampla variabilidade genética. O estudo permitiu concluir que há variabilidade genética entre as progênies de meios-irmãos de milho-pipoca, e essa permite a identificação de progênies dissimilares e com médias de produtividade e capacidade de expansão comercialmente aceitáveis.

Palavras-chave: *Zea mays*, divergência genética, variáveis canônicas, populações segregantes.

Aurélio Vaz-de-Melo¹
Gustavo André Colombo¹
Júlio César Do Vale²
Wilma Dias Santana¹
Maiara Sousa Fernandes¹

Abstract

Strategies for selection among half-sibling popcorn progenies in Cerrado soil of Tocantins, Brazil

The study of genetic diversity allows the formation of heterotic groups, which are important to direct crosses and to derive segregating populations in breeding programs. In this sense, the objective with this study was to determine the correlation between productive attributes, as well as the genetic divergence of half-sibling progenies of popcorn corn in the conditions of the cerrado of Tocantins, Brazil. For this, an experiment was conducted at the Universidade Federal do Tocantins, campus Gurupi, in a randomized block design with three replicates, where the treatments were composed of 40 progenies of half-sibs of popcorn, originating from the population UFT popcorn. The half-sib progenies showed great variability with respect to both expansion capacity and grain yield. The measures of genetic dissimilarity, calculated from the Mahalanobis distance showed high magnitude which also demonstrated wide genetic variability. The study concluded that there is genetic variability among half-sib progenies of popcorn and this allows identification of dissimilar progeny and average productivity and expansion capacity commercially acceptable.

Key words: *Zea mays*, genetic divergence, canonical variables, segregating populations.

Received at: 16/10/2016

Accepted for publication at: 02/03/2017

¹ Aluno do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal Universidade Federal do Tocantins - UFT - Avenida Paraguai - Setor Cimba - Araguaína-TO - 77824-8380. Email: vazdemelo@uft.edu.br, colombo@uft.edu.br, wilmadshta@gmail.com, maiara_fernandes@yahoo.com.br

² Eng. Agrônomo. Dr. Prof. Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal do Ceará - UFC - Av. da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza-CE - 60020-180. Email: juliodovale@ufc.br

Resumen

Estrategias de selección entre progenies medios-hermanos de maíz-palomita en el cerrado Tocantinense

El estudio de diversidad genética permite la formación de grupos heteróticos, los cuales son importantes para dirigir cruces y derivar poblaciones segregantes en programas de mejoramiento. En este sentido, se objetivó con el presente estudio, determinar la correlación entre atributos productivos, así como la divergencia genética de progenies de medios-hermanos de maíz-palomita en las condiciones del cerrado Tocantinense. Para ello, se llevó a cabo un experimento en la Universidad Federal de Tocantins, campus Gurupi, con delineamiento en bloques al azar con tres repeticiones, donde los tratamientos fueron compuestos de 40 progenies de medios-hermanos de maíz-palomita, oriundas de la población de maíz-palomita UFT. Las progenies de medios-hermanos presentaron una amplia variabilidad genética con relación tanto a la capacidad de expansión como a la productividad de los granos. Las medidas de disimilaridad genética, estimadas a partir de la distancia de Mahalanobis presentaron elevada magnitud, lo que también comprobó una amplia variabilidad genética. El estudio permitió concluir que hay variabilidad genética entre las progenies de medios-hermanos de maíz-palomita, y esa permite la identificación de progenies disimilares y con promedios de productividad y capacidad de expansión comercialmente aceptables.

Palabras clave: *Zea mays*, divergencia genética, variables canónicas, poblaciones segregantes.

Introdução

A principal limitação à expansão do cultivo do milho-pipoca nas lavouras do cerrado é a falta de cultivares adaptadas às suas condições, que reúnam atributos agronômicos favoráveis e com alto índice de capacidade de expansão (RANGEL et al., 2011). Isso se deve à carência de programas de melhoramento destinados ao lançamento de novos cultivares no Brasil, principalmente quando se compara com os vários programas direcionados para o milho comum (VITTORAZZI et al., 2013).

O sucesso do melhoramento depende em grande parte da escolha adequada dos genitores, os quais originarão as populações segregantes. Neste sentido, ao usar genitores com alta frequência de alelos efetivos, aumenta-se a probabilidade de se extrair linhagens interessantes para compor híbridos. Deste modo, deve-se considerar, além da produção de grãos, o desempenho por se das linhagens quanto à capacidade de expansão, uma vez que este é o principal parâmetro indicativo de qualidade do milho pipoca. De acordo com RODOVALHO et al. (2014), a predominância de efeitos gênicos aditivos no controle da capacidade de expansão em milho-pipoca justifica a seleção de linhagens com os maiores valores para este atributo.

A escolha de genitores que se combinem bem e principalmente, apresentem boa produtividade, não é simples. A produtividade de grãos é um atributo complexo, resultante da expressão e da associação de diferentes componentes, que são considerados pelo melhorista no processo de seleção de novos genótipos

(HALLAUER et al., 2010). De acordo com LOPES et al. (2007), o conhecimento das correlações entre componentes da produção, em especial a produtividade de grãos, possibilita a seleção indireta de um caráter quantitativo, de difícil ganho de seleção, por meio da seleção de outro caráter diretamente a ele correlacionado de maior ganho genético ou de fácil seleção visual.

O estudo da diversidade genética é etapa importante dentro de um programa de melhoramento genético, uma vez que a variabilidade existente entre os genótipos é uma estratégia para obter ganhos de seleção nos cruzamentos de grupos geneticamente divergentes, que apresentam atributos de interesse (CRUZ et al., 2012).

Na predição da divergência genética podem ser usados vários métodos multivariados, que cada vez mais têm sido empregados por melhoristas de plantas (ALVES et al., 2015; ROTILI et al., 2012). Como exemplo, podem ser citados os métodos aglomerativos, que dependem das medidas de similaridades estimadas previamente e os métodos de dispersão gráfica, como a técnica dos componentes principais e da análise canônica (CRUZ et al., 2012).

Baseado no exposto objetivou-se com o presente estudo, determinar a divergência genética de progenies de meios-irmãos de milho-pipoca nas condições do cerrado tocantinense.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins (UFT), no Campus Universitário

de Gurupi (280 m de altitude, nas coordenadas 11°43'45"S e 49°04'07"W), no período de maio a agosto de 2012.

Os dados agroclimáticos foram obtidos da

estação meteorológica da UFT próximo ao referido experimento. Estes dados se referem à temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa (Figura 1).

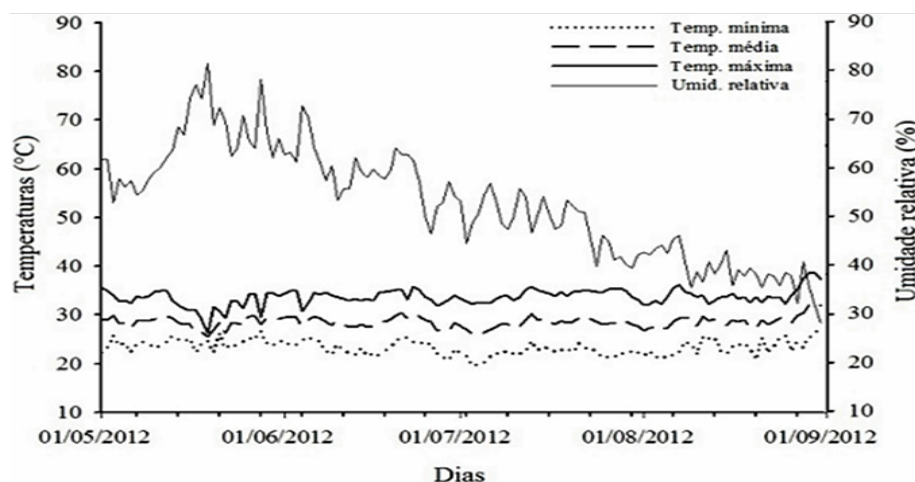


Figura 1. Variação diária da umidade relativa, temperatura máxima, média e mínima do ar, no período de junho a setembro de 2012, Gurupi-TO, 2012. (Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia-INMET).

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram compostos de 40 progênies de meios-irmãos de milho-pipoca, oriundas de populações segregantes do Programa de Melhoramento do Milho Pipoca da UFT. A parcela experimental foi constituída de duas linhas de quatro metros de comprimento, espaçadas por 0,90 metros. Na colheita, foram desprezados 0,50 metros da extremidade de cada fileira. Dessa forma, a área útil da parcela foi 6,3 m².

A adubação de plantio foi realizada em função da análise de solo, com 400 kg h⁻¹ do adubo formulado 05-25-15. A adubação de cobertura foi realizada com 100 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em duas aplicações. A primeira quando a cultura alcançou o estágio vegetativo de quatro folhas completamente expandidas (V4) e a segunda no estágio V8.

O controle de pragas foi realizado com aplicações de inseticida a base de metomil, na dosagem de 1,2 L ha⁻¹. A primeira aplicação foi realizada aos 20 dias após a emergência, e as posteriores, na medida em que se fizeram necessárias.

Em cada parcela avaliaram-se os atributos: massa de cem grãos (M100G), em gramas; capacidade de expansão (CE), em mL g⁻¹; número de fileiras por

espiga (NF), determinado a partir do número médio de cinco espigas aleatórias; número de grãos por fileira (NGF); massa de espiga (ME), em gramas; Produtividade de grãos (PROD), em kg ha⁻¹.

A capacidade de expansão (mL g⁻¹) foi mensurada pelo cálculo da razão entre o volume da pipoca expandida e o peso dos grãos crus. Em cada parcela, foram amostrados 30 mL de grãos, medido em proveta graduada de 100 mL. Posteriormente, foram submetidos à pesagem e, por fim, estourados em pipoqueira elétrica. Os grãos foram postos na câmara de estouro da pipoqueira, quando a mesma apresentava temperatura de 100 °C, conforme MIRANDA et al. (2008). O volume da pipoca expandida foi medido em proveta graduada de 1000 mL.

O número de grãos por fileiras foi determinado pela contagem manual dos grãos contidos em uma fileira. Posteriormente, repetiu-se esta operação em cinco fileiras aleatórias. Por fim, obteve-se o valor fenotípico médio desse caráter.

Na determinação da massa média de cem grãos, foram separadas quatro amostras aleatórias de cada unidade experimental para compor o valor médio da parcela. Tanto a massa de cem grãos quanto a produtividade foram corrigidos para 13% de umidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância segundo o modelo: $Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + ij$. Em que: Y_{ij} = observação referente à i -ésima progênie, no j -ésimo bloco; μ = média geral; g_i = efeito aleatório da i -ésima progênie sob a influência do ambiente permanente; b_j = efeito da j -ésima bloco; e ij = erro experimental. Adotou-se o efeito aleatório para progênies, sendo utilizado E(QM): $a^2 + r o_g^2$. As médias das progênies foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Posteriormente, foram determinadas as medidas de dissimilaridade conforme modelo de análise multivariada. Isso permitiu a obtenção das matrizes de dissimilaridade, de covariância residual e de médias das progênies de meios-irmãos de milho-pipoca. Empregou-se a distância generalizada de Mahalanobis (D2) como medida de dissimilaridade. Para o agrupamento, foram usadas as técnicas de otimização de Tocher, seguindo o critério de que a variância das progênies de meios-irmãos dentro dos grupos não poderia ser maior do que entre os grupos

(RAO, 1952) e do vizinho mais próximo (CRUZ et al., 2012).

Posteriormente, também foi utilizado o critério de SINGH (1981) para quantificar a contribuição relativa desses atributos na divergência genética. Todas as análises foram realizadas no aplicativo computacional em Genética e Estatística - GENES (CRUZ, 2013).

Resultado e discussão

As progênies de meios-irmãos diferiram estatisticamente ($p \leq 0,01$) para todos os atributos avaliados (Tabela 1). Isto demonstra que há pelo menos uma progênie com média diferente de zero e evidencia a existência de variabilidade genética. Com isso há possibilidade de se obter ganhos com a seleção. Os coeficientes de variação de todos os atributos foram abaixo de 10%, o que demonstra precisão experimental e confiabilidade das estimativas obtidas (FRITSCHÉ-NETO et al., 2012).

Tabela 1. Resumo das análises de variância de seis atributos agrônômicos avaliados em 40 progênies de meios-irmãos (PMI) de milho-pipoca.

Quadrado Médio							
FV	GL	M100G	CE	NF	NGE	ME	PROD
PMI	39	19,17**	532,46**	6,95**	9395,12**	139,78**	1397262,74**
Resíduo	79	0,09	0,219	0,57	121,73	0,48	2187,51
Média		12,85	34,34	10,90	152,68	18,39	1803,65
CV (%)		3,35	7,36	7,92	8,23	5,76	4,59

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey. M100G: Massa de cem grãos, em gramas; CE: Capacidade de expansão, em mL g⁻¹; NF: Número de fileiras por espiga; NGE: Número de grãos por espiga; ME: Massa da espiga, em gramas; PROD: produtividade de grãos, em kg h⁻¹.

A PMI-35 apresentou maior média para massa de cem grãos, mas não diferiu da PMI-1 (Tabela 2). Por outro lado, a PMI-2 apresentou maior capacidade de expansão e diferiu das demais progênies. Contudo, observaram-se 12 progênies com médias superiores a 45,00 mL g⁻¹, considerado um valor excelente para o mercado.

Assim, tomando como base esse parâmetro, é possível visualizar oito grupos estatísticos. As PMI que apresentaram média de 14 fileiras por espiga, média ideal para um cultivar, ficaram classificadas no grupo de maior média estatística e diferiu dos demais.

Tabela 2. Médias dos atributos massa de cem grãos, em gramas (M100G), capacidade de expansão, em mL g⁻¹ (CE), número de fileiras por espiga (NF), número de grãos por espiga (NGE), massa de espiga, em gramas (ME), e produtividade de grãos, em kg ha⁻¹ (PROD), de 40 progênies de meios-irmãos (PMI) de milho-pipoca.

PMI	M100G	CE	NF	NGE	ME	PROD
1	20,49 a	8,80 t	14,0 a	99,0 f	22,0 f	1305, n
2	7,25 k	69,85 a	10,0 c	94,0 f	6,7 m	649,4 r
3	7,60 k	39,80 i	12,0 b	87,0 f	6,1 m	610,8 r
4	8,02 k	37,60 j	12,0 b	114,0 e	9,3 k	944,8 p
5	16,02 d	13,45 s	12,0 b	89,0 f	13,8 i	1394,3 m
6	12,40 g	38,25 j	14,0 a	337,0 a	41,4 a	4091,2 a
7	12,30 g	32,65 l	12,0 b	110,0 f	12,5 j	1252,4 o
8	12,25 g	30,20 m	14,0 a	187,0 d	22,5 f	2254,5 h
9	10,65 i	47,10 g	10,0 c	175,0 d	18,2 g	1805,3 j
10	10,66 i	58,45 c	14,0 a	130,5 e	13,5 i	1331,0 n
11	12,29 g	13,60 s	12,0 b	133,0 e	14,3 i	1436,5 m
12	12,74 g	28,40 n	12,0 b	187,0 d	22,1 f	2197,0 h
13	13,61 f	22,15 p	12,0 b	130,0 e	15,6 h	1522,5 l
14	12,11 g	48,45 f	14,0 a	203,0 c	24,5 e	2451,7 g
15	10,54 i	56,15 e	12,0 b	140,0 e	13,8 i	1397,4 m
16	11,58 h	57,60 d	12,0 b	140,0 e	14,0 i	1394,3 m
17	11,35 h	61,65 b	14,0 a	211,0 c	23,2 f	2276,2 h
18	11,67 h	45,05 h	12,0 b	211,0 c	24,5 e	2402,9 g
19	12,45 g	47,30 g	10,0 c	187,0 d	21,4 f	2080,3 i
20	10,66 i	59,10 c	14,0 a	330,0 a	35,7 b	3602,5 b
21	12,09 g	24,40 o	12,0 b	257,5 b	31,5 c	3073,1 d
22	14,67 e	30,60 m	10,0 c	225,0 c	31,2 c	3082,9 d
23	15,27 e	17,05 r	12,0 b	140,0 e	21,0 f	2050,5 i
24	14,70 e	13,35 s	10,0 c	118,5 e	16,8 g	1663,8 k
25	13,60 f	22,05 p	10,0 c	142,0 e	17,7 g	1779,2 j
26	10,59 i	31,10 m	12,0 b	156,0 e	15,9 h	1635,7 k
27	10,36 i	47,50 g	12,0 b	106,5 f	9,8 k	961,7 p
28	14,81 e	28,95 n	8,0 d	89,0 f	11,8 j	1187,5 o
29	13,35 f	33,10 l	10,0 c	188,0 d	24,8 e	2527,4 f
30	13,36 f	35,50 k	12,0 b	251,0 b	32,2 c	3261,0 c
31	12,30 g	28,60 n	12,0 b	153,0 e	18,0 g	1819,1 j
32	10,72 i	57,7 0 d	8,0 d	135,5 e	13,8 i	1367,2 m
33	16,49 d	36,25 k	10,0 c	140,5 e	21,9 f	2190,4 h
34	10,20 i	36,65 k	12,0 b	261,5 b	26,7 d	2673,0 e
35	20,62 a	6,75 u	8,0 d	86,5 f	15,5 h	1502,6 l
36	9,17 j	19,25 q	8,0 d	52,5 g	4,0 n	382,3 s
37	17,63 c	28,90 n	8,0 d	86,0 f	13,1 j	1319,3 n
38	15,89 d	18,85 q	8,0 d	57,5 g	8,1 l	784,6 q
39	18,79 b	8,35 t	9,0 c	81,5 f	15,0 i	1519,6 l
40	12,49 g	33,10 l	12,0 b	84,5 f	9,9 k	964,4 p
Média	12,85	34,34	10,90	152,68	18,39	1803,65

Grupo de médias seguidas por uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott & Knott.

Apenas PMI-6 e PMI-20 foram alocadas no grupo de maior média para o caráter número de grãos por espiga. Contudo, apenas a PMI-6 foi enquadrada no grupo de progênies com as maiores médias para a massa de espiga (41,4 g) e, por consequência apresentou produtividade de grãos superior as demais progênies. Ainda com relação a esse caráter, 35% das PMI com maiores médias apresentaram produtividade superior a 2050,5 kg ha⁻¹. Ademais, pôde-se observar, pela quantidade de grupos formados, que as PMI apresentaram ampla variabilidade genética tanto para a capacidade de expansão quanto para a produtividade de grãos, com variação de 6,75 a 69,85 mL g⁻¹ e 382,3 a 4091,2 kg ha⁻¹, respectivamente. Isto reitera a possibilidade de se praticar seleção para ambos os atributos.

A média detectada da capacidade de expansão foi superior à mínima recomendada para a comercialização, a qual corresponde a 15 mL g⁻¹ (PACHECO et al., 1996). Segundo SCAPIM (2010), para um cultivar de milho-pipoca ser bem aceito pelo mercado, deve apresentar capacidade de expansão acima de 21 mL g⁻¹, valor esse bem abaixo da média encontrada no presente trabalho (34,34 mL g⁻¹). SWELEY et al. (2012) relatam capacidade de expansão de 51,8 mL g⁻¹ em híbridos de milho-pipoca americanos.

Contudo, em trabalhos realizados no Brasil, tanto com cultivares comerciais quanto com populações foram obtidas médias abaixo de 21 mL g⁻¹ (VITTORAZZI et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2012). Frente a isto, fica evidente o potencial das PMI do presente estudo.

Os coeficientes de correlações fenotípicas da produtividade de grãos com número de grãos por espiga e massa de espiga foram positivos e significativos ($p \leq 0,01$) (Tabela 3). Esse resultado era previsto, pois quanto maior o número de grãos por espiga, maior a massa da espiga e, por consequência, a produtividade de grãos. Isso mostra que é possível obter ganhos genéticos para produtividade de grãos via número de grãos por espiga e massa de espiga. Por outro lado, a seleção de progênies com base na produtividade de grãos não proporciona ganhos na qualidade do milho-pipoca, medida pela capacidade de expansão. Assim, a seleção tem que ser realizada separadamente para esses dois atributos. A baixa correlação fenotípica entre esse par de atributos indica que a seleção, objetivando aumento de um deles, não provocará o mesmo efeito no outro. A recombinação de progênies de meios-irmãos com altas médias de produtividades de grãos com progênies com altas médias de capacidade de expansão irão proporcionar aumento na média da população para esses dois atributos.

Tabela 3. Coeficientes de correlações fenotípicas entre os atributos massa de cem grãos (M100G), capacidade de expansão (CE), número de fileiras por espiga (NF), número de grãos por espiga (NGE), massa de espiga (ME) e produtividade de grãos (PROD) de 40 progênies de meios-irmãos (PMI) de milho-pipoca.

Atributo	M100G	CE	NFE	NGE	ME	PROD
M100G	-	-0,681*	-0,205	-0,222	0,143	0,074
CE		-	0,302	0,337	0,068	0,110
NFE			-	0,539	0,490	0,449
NGE				-	0,922	0,942**
ME					-	0,986**

**,* significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste t.

Os atributos massa de cem grãos e capacidade de expansão apresentam uma considerável associação linear, embora negativa. Isso denota que a seleção para o aumento da capacidade de expansão é inversamente proporcional para a massa de cem grãos, ou seja, grãos maiores proporcionam menor expansão. O mesmo comportamento é relatado por CABRAL et al. (2016), ao observarem correlação negativa (-0,53**) entre os atributos massa de cem grãos e capacidade de expansão. PELEGRINI et al. (2016) descrevem a existência de correlação negativa

(-0,39**) entre produtividade de grãos e capacidade de expansão. Isto demonstra a dificuldade para aumentar a produtividade em milho-pipoca e melhorar a qualidade, devendo-se para isso buscar um ganho equilibrado para ambos.

A produtividade média observada no presente estudo (1803,65 kg ha⁻¹) foi bastante superior à observada por VILARINHO et al. (2003) também em progênies de meios-irmãos de milho-pipoca (1294,35 kg ha⁻¹). Um fator a se considerar é que nas condições de baixas altitudes as temperaturas noturnas são

mais altas em decorrência da menor umidade relativa. Isso faz com que as plantas usem mais reservas para manutenção (funções vitais) e, com isso, reduzam os investimentos para a produção de grãos. De acordo com ENTRINGER et al. (2014), a produção de grãos é um caráter resultante da expressão e associação de diferentes componentes. O conhecimento da correlação ou associação entre esses componentes possibilita o desenvolvimento de critérios que facilitem a seleção indireta para produção.

As medidas de dissimilaridade genética, não presentes nas tabelas, apresentaram elevada variação (52,6 a 46872,8). Isto comprova a presença de ampla variabilidade genética entre as PMI observadas anteriormente pelo teste de médias.

A combinação entre PMI-1 e PMI-2 foi a mais divergente ($D2 = 46872,8$), seguida da combinação entre PMI-2 e PMI-35 ($D2 = 418,0$). A menor distância foi obtida entre PMI-13 e PMI-25 ($D2 = 52,6$). As 40 PMI foram alocadas em seis grupos distintos (Tabela 4). No grupo I ficaram 18 PMI (45,7% do total) geneticamente mais similares. Isto indica que possíveis cruzamentos entre essas PMI, diminuem a possibilidade de extração de linhagens interessantes em populações segregantes. A PMI-2 foi alocada isoladamente no grupo VI, e apresentou altos valores de $D2$ entre PMI dos grupos I e III. A formação destes grupos é de fundamental importância na escolha dos genitores, pois as novas combinações a serem estabelecidas devem ser baseadas na magnitude de suas dissimilaridades e no potencial per se dos genitores (CRUZ et al., 2012).

Tabela 4. Agrupamento pelo método de Tocher, com base na distância generalizada de Mahalanobis de 40 progênies de meios-irmãos de milho-pipoca, considerando os atributos massa de cem grãos, capacidade de expansão, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de espiga e produtividade de grãos.

Grupo	Progênies de meio-irmãos de milho-pipoca
I	13; 25; 23; 24; 38; 5; 11; 36; 31; 28; 12; 26; 8; 7; 40; 21; 37; 29
II	10; 15; 32; 16; 17; 19; 14; 9; 18; 27; 20
III	35; 39; 1
IV	3; 4; 34
V	22; 30; 6; 33
VI	2

As PMI reunidas em grupos mais distantes dá um indicativo de serem mais dissimilares, podendo ser consideradas como promissoras em cruzamentos artificiais. Entretanto, além de dissimilares, é necessário que os genitores associem média elevada e variabilidade nos atributos que estejam sendo melhorados. Assim, a distância da PMI-2, em relação a algumas PMI dos grupos I e III, principalmente com relação às PMI-1, PMI-35 e PMI-39 sugere que estas podem proporcionar efeito heterótico elevados após hibridações. Um fato importante a se levar em consideração é que no caso do milho-pipoca não existe grupos heteróticos definidos como no caso do milho comum (dentado e duro). Neste sentido, a divisão dessas progênies em grupos divergentes é de fundamental importância, pois possibilita separar as linhagens extraídas dessas progênies em grupos heteróticos. A demais, orienta o melhorista para recombinar as progênies mais divergentes, que

apresentem potencial per se desejável para os atributos de interesse para formarem populações com alto desempenho e com isso obter maiores ganhos com a seleção.

CRUZ et al. (2012) sugerem não cruzar indivíduos de mesmo padrão de similaridade nos cruzamentos, de modo a não restringir a variabilidade genética e, assim, evitar reflexos negativos nos ganhos a serem obtidos pela seleção. Conforme relatado por MIRANDA et al. (2003) as melhores combinações híbridas a serem testadas em programa de melhoramento, devem envolver parentais tanto divergentes como de elevada performance média. Para VIEIRA et al. (2009), o estabelecimento de grupos com genótipos homogêneos dentro e heterogêneos é o ponto de partida para avaliação mais minuciosa dos mesmos, a fim de realizar seu aproveitamento nos programas de melhoramento.

A contribuição relativa de cada caráter na dissimilaridade genética mostrou que a capacidade de expansão, produtividade de grãos e massa de cem grãos contribuíram com 70,85; 12,37 e 11,92%, respectivamente, enquanto os demais contribuíram

com apenas 4,86% (Tabela 5). A capacidade de expansão e a produtividade são os atributos mais importantes no melhoramento de milho-pipoca, devendo ser priorizadas na escolha de progenitores.

Tabela 5. Contribuição relativa, em porcentagem, dos atributos massa de cem grãos (M100G), capacidade de expansão (CE), número de fileiras por espiga (NF), número de grãos por espiga (NGE), massa de espiga (ME) e produtividade de grãos (PROD) de 40 progênies de meios-irmãos (PMI) de milho-pipoca.

Atributos	S _j	Valor em %
M100G	833508,45	11,92
CE	4919073,44	70,85
NF	23799,55	0,34
NGF	133512,30	1,92
ME	180762,24	2,60
PROD	858814,04	12,37

S_j= Coeficiente estatístico para atributos.

As análises de variáveis canônicas são realizadas a partir de amostras com observações repetidas. Esse tipo de análise tem como base um grande número de atributos correlacionados. Essa técnica permite capturar o efeito simultâneo de vários atributos e assim detectar variações não perceptíveis quando tais atributos são analisados isoladamente.

As duas primeiras variáveis canônicas explicaram mais de 96,65% da variância total contida no conjunto de dados analisados (Tabela 6). Neste sentido, é possível explicar satisfatoriamente a variabilidade manifestada entre as progênies e, desta forma, interpretar o fenômeno com considerável simplificação (VILELA et al., 2008).

Tabela 6. Estimativas das variâncias (autovalores), variâncias percentuais acumuladas das variáveis canônicas, visando estimar a dissimilaridade genética entre 40 progênies de meios-irmãos de milho-pipoca.

Variáveis Canônicas	Variâncias (autovalores)	Variâncias (Acumuladas %)
M100G	3274,1	81,50
CE	608,65	96,65
NF	26,63	97,31
NGF	6,56	98,47
ME	0,96	99,85
PROD	0,28	100

Para CRUZ et al. (2012), a análise das variáveis canônicas permite o descarte daqueles atributos que pouco contribuíram para explicar a variabilidade genética entre os genótipos avaliados. Além disso, possibilita economia de tempo, mão-de-obra e recursos financeiros em futuros estudos. Geralmente, atributos com pouca variação entre as progênies, ou ainda, que são correlacionados com outros que não são relevantes para o melhorista, podem e devem ser descartadas no próximo ciclo de seleção. Porém, existem ainda atributos que mesmo não apresentando

contribuição significativa na variação genética, são de extrema importância para o melhorista e sua análise deve ser mantida durante o programa de melhoramento. É o que se verifica no presente trabalho para os atributos número de fileiras, número de grãos por fileira, massa de espiga e produtividade de grãos. Esses atributos pouco contribuíram na dissimilaridade, contudo, são de extrema importância no programa de melhoramento e na escolha dos genitores do próximo ciclo de seleção.

Com relação à produtividade e a capacidade

de expansão, se houver a necessidade de se optar entre uma população com média de produção e capacidade de expansão intermediária e ampla diversidade, ou outra com alta produção e capacidade de expansão e diversidade intermediária, deve-se preferir esta última. É muito trabalhoso o desenvolvimento de um programa de melhoramento para elevar estes atributos de uma população a níveis produtivos de uma população com média alta. Apesar do ganho de seleção rápido proporcionado pela alta variabilidade, o trabalho visando o aumento da média de produção e capacidade de expansão não é compensatório.

Conclusões

A capacidade de expansão é o atributo que mais contribui na dissimilaridade genética entre as 40 progênies de meios-irmãos de milho-pipoca.

A existência de variabilidade genética permite a identificação de progênies de meios-irmãos de milho-pipoca dissimilares e com médias de produtividade e capacidade de expansão comercialmente aceitáveis.

Referências

- ALVES, B. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BURIN, C.; TOEBE, M.; DA SILVA, L. P. Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e à qualidade nutricional. *Ciência Rural*, v. 45, n. 5, p. 884-891, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20140471.
- CABRAL, P. D. S.; AMARAL JÚNIOR, A. T. D.; FREITAS, I. L. D. J.; RIBEIRO, R. M.; SILVA, T. R. D. C. Cause and effect of quantitative characteristics on grain expansion capacity in popcorn. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 1, p. 108-117, 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160013.
- CRUZ, C. D. Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*. v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2012.
- ENTRINGER, G. C.; SANTOS, P. H. A. D.; VETTORAZZI, J. C. F.; DA CUNHA, K. S.; PEREIRA, M. G. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. *Revista Ceres*, v.61, n.3, p.356-361, 2014. DOI: 10.1590/S0034-737X2014000300009.
- FRITSCHÉ-NETO, R.; VIEIRA, R. A.; SCAPIM, C. A.; MIRANDA, G. V.; MOREIRA, L. R. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 34, p. 99-101, 2012. DOI: 10.4025/actasciagron.v34i1.13115.
- HALLAUER, A. R.; CARENA, J. M.; MIRANDA FILHO, J. B. de. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010. 500 p.
- LOPES, S. J.; LUCIO, A. D.; STORCK, L.; DAMO, H. P.; BRUM, B.; SANTOS, V. J. D. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. *Ciência Rural*, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, 2007.
- MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; GALVÃO, J. C. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; VAZ-DE-MELO, A.; SANTOS, I. C. Genetic variability and heterotic groups of Brazilian popcorn populations. *Euphytica*, v. 162, p.431-440, 2008. DOI: 10.1007/s10681-007-9598-9.
- MIRANDA, G.V.; COIMBRA, R.R.; GODOY, C.L.; SOUZA, L.V.; GUIMARÃES, L.J.M.; VAZ-DE-MELO, A. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.38, n.6, p. 681-688, 2003.
- PACHECO, C.A. P.; CASTOLDI, F. L.; ALVARENGA, E.M. Efeito do dano mecânico na qualidade fisiológica e na capacidade de expansão de sementes de milho-pipoca. *Revista Brasileira de Sementes*, v.18, p.267-270, 1996.
- PELEGRINI, G.; OLIVEIRA, G. H. F.; MORO, G. V.; SAMECINA JUNIOR, E. H. Relação de causa e efeito de caracteres do grão sobre a capacidade expansão em milho-pipoca. *Ciência & Tecnologia*, v. 8, n. 1, p.102-106, 2016.

RANGEL, R. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T. do; GONÇALVES, L. S.; FREITAS JÚNIOR, S. de P.; CANDIDO, L. S. Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.473-481, 2011. DOI: 10.1590/S1806-66902011000200029.

RAO, R. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: John Wiley, 1952. 390p.

SANTOS, F. S.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; RANGEL, R. M.; SCAPIM, C. A.; MORA, F. Genetic gain prediction of the third recurrent selection cycle in a popcorn population. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 5, p. 651-655, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i5.3174.

RODOVALHO, M.; MORA, F.; ARRIAGADA, O.; MALDONADO, C.; ARNHOLD, E.; SCAPIM, C. A. Genetic evaluation of popcorn families using a Bayesian approach via the Independence chain algorithm. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.14, n.4, p.261-265, 2014. DOI: 10.1590/1984-70332014v14n4n41.

ROTILI, E. A.; CANCELLIER, L. L.; DOTTO, M. A.; PELUZIO, J. M.; CARVALHO, E. V. Divergência genética em genótipos de milho, no Estado do Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.516-521, 2012. DOI: 10.1590/S1806-66902012000300014.

SCAPIM, C. A.; AMARAL-JÚNIOR, A. T.; VIEIRA, R. A.; MOTERLE, L. M.; TEIXEIRA, L. R.; VIGANÓ, J.; SANDOVAL-JÚNIOR, G.B. Novos compostos de milho-pipoca para o Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.321-330, 2010. DOI: 10.5433/1679-0359.2010v31n2p321.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, v. 41, p. 237-245, 1981.

SWELEY, J.C.; ROSE, D.J.; JACKSON, D.S. Hybrid and environment effects on popcorn kernel physiochemical properties and their relationship to microwave popping performance. **Journal of Cereal Science**, v. 55, p.188-194, 2012. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.11.006.

TEIXEIRA, W.; MALTA, C. G.; LEANDRO, W. M. Produtividade e avaliação da capacidade de expansão de milho pipoca crioulo em cultivo isolado e consorciado. **Enciclopédia Biosfera**, v.8. n.14, p.778-787, 2012

VIEIRA, R.A.; RODOVALHO, M.A.; SCAPIM, C.A.; TESSMANN, D.J.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; BIGNOTTO, L.S. Desempenho agrônomico de novos híbridos de milho-pipoca no noroeste do Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, n. 1, p. 29-36, 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i1.4142.

VILARINHO, A. A.; VIANA J.M.S.; SANTOS, J.F.; CÂMARA, T.M.M. Eficiência da seleção de progênies S1 e S2 de milho-pipoca, visando à produção de linhagens. **Bragantia**, v. 62, p. 9-17, 2003. DOI: 10.1590/S0006-87052003000100002.

VILELA, F. O.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; SCAPIM, C. A.; VIANA, A. P.; FREITAS JÚNIOR, A. P. Effect of recurrent selection on the genetic variability of the UNB-2U popcorn population using RAPD markers. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 25-30, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i1.1123.

VITTORAZZI, C.; AMARAL JÚNIOR, A. T. D.; GONÇALVES, L. S. A.; CANDIDO, L. S.; SILVA, T. R. D. C. Selecting pre-cultivars of popcorn maize based on nonparametric indices. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.356-362, 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000200019.