

Germoplasma Exótico de Milho: Sobrelevação do Valor Genético

Edésio Fialho dos Reis¹, José Branco de Miranda Filho², Luana de Oliveira Rodrigues³ e Aurilene Santos Oliveira⁴

^{1,4} Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Jataí (GO). ¹edesio7@brturbo.com.br, ²jbmirand@esalq.usp.br e ^{3,4} Acadêmicos da Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Jataí (GO). ³luana_agro@yahoo.com.br e ⁴aurilene.s.oliveira@hotmail.com

Resumo – Foram utilizadas 12 populações semiexóticas de milho com o fim de avaliar o seu potencial para melhoramento, tanto *per se* como em cruzamento com dois testadores segundo o modelo de cruzamento dialélico parcial. Os cruzamentos tiveram ainda a finalidade de averiguar a viabilidade de introgressão de germoplasma semiexótico em material local adaptado (testadores), aqui representados pela geração F₂ de híbridos comerciais. Foram avaliados os 24 híbridos interpopulacionais juntamente com 11 populações parentais em blocos casualizados com quatro repetições. Todos os materiais avaliados foram mais tardios (1 a 5%) que a testemunha, que floresceu com 64,6 dias. Para altura (planta e espiga) não houve significância entre os híbridos com os testadores T₁ (grupo G₁) e T₂ (grupo G₂). Os caracteres de produção (PE, PG, P5) e da espiga (CE, DE) só mostraram diferenças entre os híbridos do grupo G₂. Para AP e AE houve diferenças entre grupos de híbridos (G₁ e G₂) e de populações (P1 e P2) mas não do contraste híbridos *vs.* populações. Todos os grupos mostraram maior comprimento e menor diâmetro da espiga em relação à testemunha. Para a produção de espigas e de grãos, os melhores híbridos chegaram, respectivamente, a 97% e 92% da testemunha.

Palavras chave: germoplasma exótico, introgressão, heterose.

Introdução

A importância do milho na alimentação é reconhecida de longa data. O germoplasma, distribuído por todo o mundo, ocupa ampla área de ambientes, diferenciados por diversos fatores como altitude, latitude, tipos de solo, regime pluviométrico, etc. Apesar da grande diversidade, os cruzamentos são viáveis mesmo entre tipos extremamente diferenciados, o que torna possível uma ampla gama de exploração da variabilidade genética (HALLAUER e MIRANDA FILHO, 1988).

O germoplasma de milho no Brasil é caracterizado por uma ampla variabilidade, incluindo raças locais ou indígenas, populações adaptadas e germoplasma exótico ou semiexótico (introduzidos de outras regiões). Entretanto, apenas uma pequena porção da variabilidade tem sido efetivamente utilizada nos programas de melhoramento (MIRANDA FILHO, 1985; GOODMAN, 1985). Em geral, germoplasma exótico é considerado aquele oriundo de outros países ou regiões com características de ambiente diferentes daquelas do local considerado;

numa concepção mais ampla, o germoplasma é considerado exótico quando são detectadas limitações de adaptação às áreas de interesse (NASS *et al.*, 2001).

No Brasil, após o período de utilização de germoplasma local, incluindo variedades antigas como *Cateto* e *Dente Paulista*, houve um grande avanço com a introdução de germoplasma exótico, principalmente *Tuxpeño* e raças relacionadas do México e América Central, que trouxeram grande contribuição para a obtenção de híbridos semidentados de alta produção (MIRANDA FILHO e VIÉGAS, 1987). Os trabalhos sobre germoplasma exótico basicamente se concentraram em estudos sobre os efeitos da introgressão genética e sobre o potencial das populações para fins de melhoramento. Neste contexto, inúmeros trabalhos foram realizados para a introgressão de diversas fontes de germoplasma com vista à ampliação da base genética dos programas de melhoramento no Brasil. Regitano Neto (1998) e Miranda Filho (2003) relatam sobre resultados de introgressão de diversas fontes de origem tropical e temperada no programa de melhoramento de milho do Departamento de Genética da ESALQ/USP. Algumas populações derivadas destes materiais introduzidos, juntamente com outras derivadas de outros programas, mostraram bom potencial para melhoramento, mas também exibiram deficiências agronômicas que podem ser melhoradas por cruzamento com material local adaptado. Assim, foram escolhidas 12 populações que formaram a base para o presente estudo que visa, essencialmente, a elevação do valor genético e aumento da possibilidade de sua utilização como fonte de germoplasma diferenciado nos programas de melhoramento.

Material e Métodos

O presente projeto representa a continuação de um programa de introgressão e avaliação de germoplasma exótico de diversas origens, iniciado há muitos anos no Departamento de Genética (ESALQ/USP) (MIRANDA FILHO, 1992; MIRANDA FILHO, 2003; REGITANO NETO *et al.*, 2001). Mais recentemente, foram recuperadas 36 populações (multiplicação em lotes isolados na região de Jataí, GO), das quais 26 foram avaliadas experimentalmente para diversos caracteres de importância agronômica. Dentre estas, foram escolhidas 12 populações semi-exóticas que foram cruzadas com dois testadores (AG-6040 e DAS: geração F₂ de híbridos comerciais) os quais serão utilizados como base para introgressão de germoplasma semiexótico, assim aumentando a possibilidade de seu uso em programas de melhoramento. A identificação das populações e dos testadores constam na Tabela 1.

As 12 populações foram cruzadas com os dois testadores, obtendo-se 24 híbridos interpopulacionais que foram avaliados experimentalmente juntamente com as populações

parentais (exceto EX-BR₁, não incluída por problema de qualidade de sementes). O experimento foi em blocos casualizados com quatro repetições, envolvendo 37 tratamentos, representados por 24 híbridos (populações x testadores), 11 populações parentais semiexóticas (excluído EX-BR₁) e 2 testadores (geração F₂). Foram utilizadas parcelas duplas de 4m em linhas com espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, com estande programado de 40 plantas na parcela. Foi utilizada uma testemunha (híbrido DAS precoce) intercalada a cada dez parcelas no experimento). Foram avaliados os seguintes caracteres: FM - florescimento masculino (dias); PT • peso total de espigas na parcela, corrigido para as variações de estande; PG • peso de grãos, corrigido para as variações de estande; P5 • peso de cinco espigas com padrão representativo da parcela; AP • altura da planta (m); AE • altura da espiga (m); CE • comprimento da espiga (cm); DE • diâmetro da espiga (cm); RG • rendimento de grãos (PG/PT), NE • número de espigas por parcela; Pr • índice de prolificidade (NE/St). Os caracteres AP, AE, P5, CE e DE foram avaliados em cinco plantas ou espigas por parcela. Foram calculadas as médias para todos os caracteres, mas a análise de variância preliminar foi realizada somente para os caracteres primários (PT, PG, P5, AP, AE, CE, DE). As análises da variância foram realizadas segundo o modelo de blocos casualizados, não incluindo a testemunha. Foi calculada a heterose em relação à média dos pais nos 22 híbridos que tinham dados de ambos os pais.

Resultados e Discussão

As análises de variância foram realizadas somente para os caracteres primários e são apresentadas na Tabela 2. Para a variação entre tratamentos, foi constatada significância pelo teste F ($P < 0,05$) para todos os caracteres, demonstrando grande divergência no conjunto de materiais avaliados. Entretanto, não houve significância para a diferença entre híbridos das populações semiexóticas com o testador T₁ (AG-6040), enquanto que com o testador T₂ (DAS) houve significância para PE, P5, CE e DE. Tanto para AP como AE a média de cada grupo (exceto testadores) foi superior à testemunha, variando de 7% a 17% para AP e de 14% a 25% para AE. Nos testadores, AP e AE mostraram praticamente o mesmo valor das testemunhas (Tabela 2). Para as populações semiexóticas, houve diferença significativa para AP, AE, PG e DE. Para PG, os dois conjuntos de híbridos chegaram a cerca de 88% da testemunha, enquanto que as populações parentais (semiexóticas e testadores) foram pouco mais de 80% (Tabela 3). Para a produção de espigas e de grãos, as maiores médias foram para os híbridos [Composto Tutu x T₂], [Composto Tutu x T₁], [NAP Dent Branco x T₂] e

[Composto RL x T₂], com produções acima de 97% para PE e acima de 92% para PG, respectivamente, em relação à testemunha. Entre as populações semiexóticas sobressaíram [NAP Flint Laranja], [NAP Flint Branco] e [Composto CTA], com médias acima de 9,6 t ha⁻¹ (resultados não apresentados).

Para CE e DE, houve maior diferenciação para os híbridos do grupo G₂ e para as populações semiexóticas. Em média o comprimento da espiga foi de 17 cm para os quatro grupos de materiais avaliados. As espigas mais longas foram de [NAP Flint Amarelo x T₁] e [Composto Tutu x T₂] com mais de 18 cm; entre as populações semiexóticas sobressaíram [Composto CUBAEX] e [Composto CTA] com cerca de 17,4 cm enquanto que as espigas mais curtas foram do [Composto Tutu] com 15,8 cm. Para espigas grossas sobressaíram os híbridos [Composto CRL x T₂] e [(Composto Tutu) x T₂] com DE de 5,2 cm e a população [Composto Tutu] com 5,3 cm; as espigas mais finas foram do híbridos [NAP Flint Branco] e [NAP Dent Branco] com *cir.* 4,7 cm. Para CE e DE não foi significativa a variação entre híbridos com o testador T₁ e a diferença entre testadores, mas foi significativa a variação entre híbridos com o testador T₂ e entre as populações semiexóticas.

Para todos os caracteres a diferença entre testadores não foi significativa, mostrando grande similaridade entre eles. Por outro lado, foi significativa a diferença entre grupos de materiais avaliados para todos os caracteres, mas a diferença mais visível foi para o contraste entre híbridos e populações parentais (H vs. P), para todos os caracteres, exceto AP e AE.

Para o peso de cinco espigas, quatro híbridos, [NAP Flint Amarelo x T₁], [NAP Dent Branco x T₂], [Composto Tutu x T₂] e [Composto CTA x T₂], com médias de 1,2 kg, mostraram-se superiores à testemunha. Entre as populações parentais sobressaíram [NAP Flint Branco] e [ARGITA], com médias superiores a 1,05 kg. O grau de associação entre os caracteres de produção, medido pelo coeficiente de correlação (r), foi relativamente alto com valores estimados de 0,965, 0,809 e 0,857 para as combinações PE x PG, PE x P5 e PG x P5, respectivamente. Também foi alto o grau de associação (r = 0,899) entre AP e AE, porém baixa (r = 0,046) a associação entre CE e DE.

A heterose em relação à média dos pais (Tabela 4) mostrou valores dentro dos padrões normalmente citados na literatura. Os valores mais baixos foram para os caracteres da espiga, CE e DE, com médias de ~3% e ~1%, respectivamente, nos três conjuntos de híbridos (G₀, G₁, G₂). Por se tratar de caracteres de ação gênica com pouca dominância, valores baixos de heterose eram esperados (MIRANDA FILHO, 2010). Para os caracteres da planta (AP e AE) no grupo G₀, as heteroses foram um pouco superiores, com médias de ~5% e ~12%, mas com valores que atingiram até 19,8% e 27,5%, respectivamente. Os híbridos do grupo G₁ foram

mais heteróticos do que os do grupo G₂, com médias de 11,5% e -1,5% (AP) e de 17,9% e 5,6% (AE), respectivamente, mostrando que as populações semiexóticas exibiram maior divergência em cruzamento com o testador T₁ (AG-6040) em comparação com o testador T₂ (DAS), além de revelar ação gênica com maior grau de dominância em relação a CE e DE.

Os caracteres de produção (PE, PG, P5) mostraram os valores mais altos de heterose, em geral, com médias de ~10% e valores máximos que atingiram ~20% (PE, PG) e até ~30% (P5). Os híbridos mais heteróticos ($16\% < h_{ii} < 20\%$) foram [Composto RL x T₂], [Composto Tutu x T₁], [Composto Tutu x T₂] e [NAP Dent Branco x T₂].

Conclusões

De modo geral, os resultados deste trabalho mostram que a estratégia para melhorar o padrão de populações semiexóticas através de cruzamento com material local adaptado pode conduzir a resultados bastante interessantes, disponibilizando novas fontes de germoplasma para uso direto ou para o desenvolvimento de novas populações.

Literatura citada

GOODMAN, M.M. Exotic maize germplasm: status, prospects and remedies. *Iowa State J. Res.*, vol. 59, p. 4497-4527, 1985.

HALLLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 2. ed. Iowa State University Press. Ames, Iowa, 468 p, 1988.

MIRANDA FILHO, J.B. Breeding Methodologies for Tropical Maize. *In: A.Brandolini & F.Salamini (eds.), Breeding Strategies for Maize Production Improvement in the Tropics*. Ist. Agron. per l'Oltremare (Firenze, Italy), p.177-206, 1985.

MIRANDA FILHO, J.B. Exotic germplasms introduced in a Brazilian maize breeding program. *Braz. J. Genetics*, vol. 15, p. 631-642, 1992.

MIRANDA FILHO, J.B. Melhoramento genético do milho: exploração de novos germoplasmas e metodologias. Relatório FAPESP, 48p., 2003.

MIRANDA FILHO, JB.. Heterose: aspectos conceituais. *In: Exploração de Híbridos no Melhoramento Genético Vegetal • Anais do 27^o Encontro sobre Temas de Genética e Melhoramento*. Departamento de Genética, ESALQ/USP, Piracicaba (SP). p. 4-11. 2010.

MIRANDA FILHO, J.B.; VIÉGAS, G.P. Milho Híbrido. *In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Eds.), Melhoramento e Produção do Milho*. Edição da Fundação Cargill. Cap.7, p. 275-290, 1987.

NASS, L.L.; MIRANDA FILHO, J.B.; SANTOS, M.X. Uso de germoplasma exótico no melhoramento. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. (Eds.) Recursos Genéticos e Melhoramento: Plantas. Fundação MT, Rondonópolis (MT), p. 101-122, 2001.

REGITANO NETO, A. Incorporação de germoplasma exótico de milho (*Zea mays* L.). Tese de Doutorado, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 1998.

REGITANO NETO, A.; NASS, LL; MIRANDA FILHO, JB. Potential of twenty exotic germplasms to improve Brazilian maize architecture. *Braz. J. Genetics* 20:691-696, 2001

Tabela 1. Lista de 12 populações (POP) de polinização livre com variadas proporções de germoplasma exótico.

POP ³	Denominação ⁴	Origem
E ₁	NAP-Flint Laranja	População do inter cruzamento de espigas tipo <i>flint</i> do Projeto NAP
E ₂	NAP-Flint Amarelo	População do inter cruzamento de espigas tipo <i>flint</i> do Projeto NAP
E ₃	NAP-Flint Branco	População do inter cruzamento de espigas tipo <i>flint</i> do Projeto NAP
E ₄	ARGITA	Recombinação de híbridos argentinos x população ITA
E ₅	NAP-Dent Branco	População do inter cruzamento de espigas tipo <i>dent</i> do Projeto NAP
E ₆	Composto CRL	Composto resistente à lagarta-do-cartucho
E ₇	Composto CUBAEX	Recombinação de populações de Cuba
E ₈	SIKALQ	População obtida do cruzamento SIKUANI (Peru) x ESALQ-PB1
E ₉	Composto CTA	Composto tolerante a solos ácidos
E ₁₀	Composto EX-BR1	Geração RC ₂ do cruzamento de exóticos x BR-106
E ₁₁	Composto Tutu	Recombinação do híbrido BR-106 ≡ Tuxpeño x Tusón ≡ Cubano
E ₁₂	Composto EX-BR11	Geração F ₂ do cruzamento de exóticos x BR-106
E ₁₃ • T ₁	Testador 1	Geração F ₂ do híbrido DAS-PRECOCE da empresa Dow Agrosience
E ₁₄ • T ₂	Testador 2	Geração F ₂ do híbrido Ag-6040 ⁵ da empresa Monsanto Sementes

³ [Todas as populações (E₁ a E₁₂) pertencem à coleção de germoplasma do Departamento de Genética – ESALQ/USP]. ⁴ [População selecionada para redução da altura da espiga]. ⁵ [Populações obtidas no Projeto NAP-MILHO (Núcleo de Apoio à Pesquisa do Milho); ITA - população derivada da variedade IAC-Taiúba; SIKUANI – população tolerante a solo ácido, introduzida do Peru].

Tabela 2. Análise da variância* de sete caracteres^{*} avaliados em 12 populações semi-exóticas no esquema de cruzamento dialélico parcial com dois testadores (T₁- híbrido Ag-6040; T₂- híbrido DAS).

Fonte ^A	GL	AP ²	AE ²	PE ²	PG ²	P5 ²	CE ²	DE ²
Repetições	3	2,7673	12,582	• 12,776	• 7,7612	15,841	26,838	2,622
Tratamentos	36	• 95,612	• 58,478	• 9,5312	• 6,6370	• 26,490	• 117,76	• 9,3814
Pop x T ₁	11	18,198	22,676	4,4885	2,9959	8,5354	82,515	3,7273
Pop x T ₂	11	34,668	23,732	• 9,7219	5,0826	• 26,971	• 126,79	• 5,4545
Pop	10	• 103,68	• 80,401	7,8376	• 6,2071	13,713	• 116,09	• 15,855
Testadores	1	51,200	4,0500	0,1229	0,3056	1,6531	8,0000	0,5000
Grupos	3	• 590,85	• 262,23	• 36,103	• 29,231	• 141,43	• 255,98	• 25,895
H ₁ vs. H ₂	1	• 814,63	• 278,34	0,2068	0,9791	0,3010	48,167	• 13,500
P ₁ vs. P ₂	1	• 946,16	• 495,56	0,3021	0,1089	2,0596	16,168	2,1853
H vs. P	1	11,760	12,789	• 107,80	• 86,604	• 421,92	• 703,61	• 61,999
Erro	108	29,567	18,162	4,7976	3,1850	11,815	61,449	2,8068
Média		2,29	1,25	9,733 ^τ	8,106 ^τ	1,075	17,28	4,91
CV%		7,70	11,11	9,88	9,67	10,11	4,54	3,41
Média%		112,8	120,4	87,1	80,3	90,9	105,9	93,6

• [Análise com os dados originais]. * Simbologia: ver texto. ^A [Abreviações: Pop – populações semiexóticas; T₁ e T₂ – Test • testadores AG-6040 e DAS_{pre}; Grupos: H₁ – híbridos Pop x T₁; H₂ – híbridos Pop x T₂; P₁ – populações parentais • Pop; P₂ – testadores; H vs. P – contraste Híbridos (H₁ + H₂) vs. Parentais (Pop + Test)]. ¹, ², ³ : Quadrados médios multiplicados por 10, 100 e 1000, respectivamente. ^τ Expressos em t ha⁻¹.

Tabela 3. Médias[‡] de 12 caracteres de populações semi-exóticas (P)^b avaliadas no esquema de cruzamento dialélico parcial com dois testadores (T₁- híbrido Ag-6040; T₂- híbrido DAS)^f

Caracteres	m _T	m _{H1}	m _{H1} %	m _{H2}	m _{H2} %	m _P	m _P %	m _t	m _t %
Florescimento masculino (dias)	64,6	67,5	104,5	65,3	101,1	67,5	104,6	67,8	104,9
Estande final	33,5	32,0	95,6	30,9	92,3	30,2	90,1	29,1	86,9
Altura da planta (m)	2,03	2,37	117,2	2,18	107,6	2,36	116,4	1,99	98,0
Altura da espiga (m)	1,04	1,30	125,2	1,19	114,0	1,31	125,9	1,04	99,9
Produção de espigas (t ha ⁻¹)	11,17	9,99	89,4	10,03	89,8	9,24	82,7	9,15	81,9
Produção de grãos (t ha ⁻¹)	9,54	8,31	87,1	8,40	88,0	7,64	80,1	7,70	80,7
Rendimento de grãos	0,904	0,833	92,1	0,839	92,7	0,827	91,4	0,842	93,1
Peso de 5 espigas (kg)	1,18	1,11	94,1	1,12	94,4	1,00	84,5	1,02	86,0
Comprimento da espiga (cm)	16,3	17,5	107,3	17,4	106,5	17,0	104,2	16,9	103,3
Diâmetro da espiga (cm)	5,25	4,93	93,8	5,00	95,2	4,82	91,8	4,88	92,9
Número de espigas/parcela	36,0	33,8	93,8	32,1	89,1	32,3	89,8	31,6	87,8
Grau de prolificidade	1,07	1,05	98,0	1,04	96,4	1,07	99,9	1,08	100,9

^f [Geração F₂ de híbridos comerciais]. [†] [m_T - média da testemunha DAS; m_{H1} - média dos híbridos do grupo G1: população x testador T₁; m_{H2} - média dos híbridos do grupo G2: população x testador T₂; m_P - média das populações semi-exóticas (não inclui P₁₀ • BR 106 RC₂); m_t - média dos testadores]. ^b [Não incluiu a população parental BR 106 F₂].

Tabela 4. Heterose para sete caracteres em híbridos entre 11 populações semiexóticas e dois testadores.

Caráter	G0 - Conjunto total			G1 - Populações x T ₁			G2 -Populações x T ₁		
	média	max	min	média	max	min	média	max	min
Altura da planta (m)	0.11	0.41	-0.16	0.24	0.41	0.09	-0.02	0.21	-0.16
%	5.0	19.8	-7.7	11.5	19.8	4.3	-1.5	9.9	-7.7
Altura da espiga (m)	0.13	0.30	-0.02	0.20	0.30	0.11	0.06	0.11	-0.02
%	11.7	27.5	-1.9	17.9	27.5	9.6	5.6	9.4	-1.9
Peso de espigas (t ha ⁻¹)	0.843	1.827	-0.142	0.805	1.503	-0.142	0.882	1.827	0.058
%	9.2	20.1	-1.5	8.8	16.1	-1.5	9.6	20.1	0.6
Peso de grãos (t ha ⁻¹)	0.687	1.506	-0.082	0.626	1.302	-0.082	0.747	1.506	0.102
%	9.0	19.8	-1.0	8.2	16.7	-1.0	9.8	19.8	1.3
Peso de 5 espigas (kg)	0.107	0.299	0.013	0.110	0.209	0.013	0.103	0.299	0.013
%	10.7	30.2	1.2	11.1	21.4	1.3	10.2	30.2	1.2
Comprimento espiga (cm)	0.5	2.0	-0.3	0.5	1.4	-0.3	0.6	2.0	-0.2
%	3.1	12.3	-1.6	2.9	8.6	-1.6	3.3	12.3	-1.3
Diâmetro da espiga (cm)	0.1	0.3	-0.1	0.1	0.2	-0.1	0.1	0.3	-0.1
%	2.5	6.7	-2.1	2.0	4.7	-2.1	3.0	6.7	-2.0