



ARTIGO ORIGINAL

Capacidade combinatória de genótipos de soja sob condições de cerrado de baixa latitude

Diallel analysis of the combining ability of soybean genotypes under low latitude Brazilian cerrado conditions

Gustavo André Colombo^{1*}
Edmar Vinícius de Carvalho²
Douglas José Daronch³
Joenes Mucci Peluzio²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Estrada dos Moraes, s/n, Novo Bairro, 69190-000, Maués, AM, Brasil

² Universidade Federal do Tocantins – UFT, Rua Badejos, Lote 7, s/n, Jardim Cervilha, 77404-970, Gurupi, TO, Brasil

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO, Rua do Acude/Lago Municipal, s/n, Centro, 77470-000, Formoso do Araguaia, TO, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: gustavo.colombo@ifam.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Glycine max
Melhoramento genético
Tocantins
Dialelo completo

KEYWORDS

Glycine max
Genetic improvement
Tocantins
Complete diallel

RESUMO: A seleção de genitores para cruzamentos é uma das etapas mais importantes em programas de melhoramento, em que a predição do potencial genético das combinações híbridas permite ao melhorista canalizar recursos humanos e financeiros em populações superiores. Nesse sentido, este trabalho buscou estimar as capacidades geral (CGC) e específica de combinação (CEC) de sete genótipos de soja em duas gerações (F₁ e F₂) a fim de indicar genitores e combinações híbridas promissoras. Os híbridos F₁, as populações F₂ e os genitores foram avaliados em Gurupi, Tocantins, sendo a geração F₁ e seus respectivos genitores avaliados em casa de vegetação, e a geração F₂, em campo. Os atributos mensurados foram: número de dias para florescimento e maturação, número de grãos por vagens, número de vagens por planta, massa de cem grãos e produtividade de grãos por planta. Para todos os atributos foi detectado efeito significativo para CEC nas duas gerações, e os resultados da análise dialélica foram concordantes nas gerações F₁ e F₂. Os genitores M-8360 e A-7002 reúnem alelos favoráveis à diminuição do número de dias para florescimento e para maturação em soja. A hibridação M-8360 × BRS Valiosa é promissora à obtenção de linhagens de soja com ciclo precoce. Os genitores M-8360 e M-8867 são promissores como genitores em programas de melhoramento populacional voltados a incrementos nos componentes de produção, bem como a hibridação entre eles para obter populações segregantes superiores.

ABSTRACT: The parent selection for crossings is one of the most important steps in genetic improvement programs, in which the prediction of the genetic potential of hybrids allows the breeder to channel human and financial resources at higher populations. In this sense, the objective of this study was to estimate the general (GCA) and specific combining ability (SCA) of seven soybean genotypes, in two generations (F₁ and F₂), to indicate parents and hybrid combinations that are promising to achieve new favorable combinations. F₁ hybrids, F₂ populations and the parents were evaluated in the city of Gurupi, Tocantins, Brazil. F₁ generation and its parents were evaluated in a greenhouse, and the F₂ generation in the field. The measured parameters were: number of days to flowering and to maturity, number of seeds per pod, number of pods per plant, weight of one hundred seeds and grain yield per plant. For all attributes, a significant effect for SCA was detected. Diallel analysis results were in accordance in F₁ and F₂ generations. M-8360 and A-7002 parents gather alleles favorable to reduce the number of days to flowering and to maturity in soybean. Hybridization M-8360 × BRS Valiosa is promising to obtain early cycle soybean strains. M-8360 and M-8867 parents are promising for population improvement programs, and their hybrid is promising to obtain superior segregant populations.

Recebido: 11 jul. 2017

Aceito: 24 jul. 2018

1 Introdução

A soja [*Glycine max* (L.)] é uma das espécies de maior relevância econômica no contexto mundial, fonte de matéria-prima para a indústria, alimentação animal e humana. Atualmente, o Brasil é o segundo produtor mundial de soja (United States Department of Agriculture, 2018) cuja cultura constitui-se como a mais importante oleaginosa cultivada. Anualmente, o complexo soja agrega à balança comercial brasileira aproximadamente 31,7 bilhões de dólares (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, 2018), além de contribuir com mais de 100 bilhões de reais para o produto interno bruto (PIB) brasileiro em 2017 (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2018).

Tomando como referência o cenário internacional, dentre os grandes países produtores da oleaginosa, o Brasil figura como o que apresenta as melhores condições para expandir a produção e promover o esperado aumento na oferta do grão (Brasil, 2017). O ecossistema do cerrado apresenta mais de 30 milhões de hectares de terras ainda inexploradas, além de possuir condições topográficas e de clima favoráveis, caracterizando-se em uma região apta à incorporação ao processo produtivo da soja (Carneiro Filho & Costa, 2016). Contudo, para condicionar incrementos cada vez mais compensatórios, é necessária a obtenção de genótipos adaptados às condições edafoclimáticas de cada região.

A seleção de genitores é uma das etapas primordiais no programa de melhoramento de plantas, pois é nesses que devem se concentrar os alelos favoráveis para as características de interesse, permitindo a obtenção de indivíduos superiores (Bilyeu et al., 2016). Frequentemente, novos programas de melhoramento genético de soja são iniciados cujo êxito vincula-se à eficiência na escolha dos genitores que, ao serem cruzados, produzem híbridos e, posteriormente, populações segregantes promissoras, favorecendo o trabalho do melhorista na obtenção de progresso genético (Matsuo et al., 2015; Sedyama et al., 2015).

Contudo, um dos primeiros obstáculos enfrentados pelos melhoristas está no oneroso trabalho que envolve a avaliação da população-base, no qual uma escolha equivocada compromete todo o trabalho de seleção que será praticado ao longo das gerações, implicando em desperdício de tempo e de recursos investidos (Oliboni et al., 2013). Em função disso, cada vez mais lança-se mão de ferramentas que facilitem a coleta de informações que envolvam o *pool* gênico utilizado.

Uma das metodologias mais eficientes e comumente aplicadas em programas de melhoramento genético é a análise dialélica, que propicia estimativas de parâmetros úteis à seleção de genitores para hibridação e ao entendimento da ação dos genes envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz et al., 2012). Na análise dialélica estima-se a capacidade geral de combinação (CGC) do genitor, indicativa de quanto este difere da média geral da população dialélica em que os maiores valores referentes à CGC, positivos ou negativos, apontam maior divergência, superior ou inferior, em relação aos demais genitores. Já a capacidade específica de combinação (CEC) demonstra casos em que certas combinações híbridas se mostram superiores ou inferiores ao que seria esperado com base na performance média dos genitores que compõem o referido híbrido – ou seja, a complementação entre os genótipos em relação às frequências dos alelos nos *locus* com alguma dominância (Pinto, 2009).

Vários estudos têm sido realizados para avaliar a capacidade combinatória de genótipos de soja, visando o estabelecimento de estratégias eficientes de seleção de indivíduos superiores em condições de baixas latitudes. Entre esses trabalhos, destacam-se aqueles voltados à obtenção de linhagens superiores quanto à produção de grãos (Daronch et al., 2014), teor de óleo e proteína (Del Conte, 2017), e quanto à tolerância a ferrugem asiática (Pereira et al., 2018). Entretanto, a demanda por novos cultivares-elite de soja é constante, e os programas de melhoramento têm que ser dinâmicos para superar os atuais índices de produtividade e desempenho exigidos pelo mercado.

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo estudar a capacidade geral e específica de combinação de genótipos de soja quanto a atributos agronômicos e determinar os efeitos genéticos que controlam sua expressão, buscando identificar progenitores e combinações híbridas promissoras para ao melhoramento de soja no estado do Tocantins.

2 Material e Métodos

No ano agrícola 2010/11, sete genótipos de soja (A-7002, M-8867, P98Y51, M-8360, P99R01, BRS Valiosa e M-9350), adaptados às condições de baixa latitude e previamente selecionados por meio de estudos de diversidade genética (Pelúzio et al., 2009), foram cruzados em dialelo completo, sem recíprocos, sob condições de casa de vegetação, na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa-MG, resultando na formação de 21 combinações híbridas.

Em janeiro de 2012, as sementes F1 das 21 combinações híbridas, juntamente com os sete genitores, foram semeadas em vasos individuais, sob condições de casa de vegetação, na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, em Gurupi (280 m de altitude, 11°43' S e 49°04' W). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo B1wA'a' úmido com moderada deficiência hídrica.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, constituído por 28 tratamentos (21 combinações híbridas e sete genitores), em três repetições. A parcela experimental foi constituída por seis vasos de plantas individuais com capacidade para cinco litros. Os vasos de plásticos foram preenchidos com solo de área agrícola, de textura média. As sementes das combinações híbridas foram colhidas separadamente, identificadas e armazenadas em condições controladas.

Na safra 2014/2015, uma porção das sementes F2, bem como os sete genitores, foram semeadas em campo na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, constituído por 28 tratamentos (21 populações e sete genitores), em três repetições. Constituiu-se a parcela experimental por duas linhas com 3 metros de comprimento cada, espaçadas por 0,45 m. A densidade de semeadura foi realizada com o intuito de se obter dez plantas por metro linear.

Todos os tratamentos – tanto em casa de vegetação como em campo – receberam adubação de plantio com P_2O_5 (120 kg ha⁻¹) e K_2O (120 kg ha⁻¹). Os tratamentos culturais relacionados à inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum*, assim como manejos fitossanitários, foram realizados conforme recomendação técnica (Sedyama et al., 2009).

As plantas foram avaliadas de forma individual, para coleta dos seguintes atributos agrônômicos: número de dias para o florescimento (NDF) – número de dias contados, a partir da emergência, necessários para que haja uma flor aberta em 50% das plantas da parcela; número de dias para a maturação (NDM) – número de dias contados, a partir da emergência, necessários para que se tenha 95% de vagens maduras na planta; número de grãos por vagem (NGV); número de vagens por planta (NVP); massa de cem grãos (M100G) – em g pl⁻¹, determinada com a pesagem de uma amostra de 100 grãos por planta, após a correção da umidade para 13%; e a produtividade de grãos (PG) – determinada em g pl⁻¹, obtida por meio da massa de grãos correspondente a cada planta, após correção da umidade para 13%.

Os dados de cada atributo foram submetidos à análise de variância individual para cada geração, em que se adotou modelo fixo para os efeitos dos tratamentos (genótipos e combinações híbridas), uma vez que os genótipos foram escolhidos para atender a um objetivo específico. Com base nos resultados da análise de variância, estimaram-se os efeitos de capacidade geral e específica de combinação, segundo metodologia proposta por Griffing (1956), método 2, utilizando progenitores e combinações híbridas, de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + G_j + S_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

μ – efeito da média geral;

G_i e G_j – efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) associados a i e j -ésimo genitor;

S_{ij} – efeito da capacidade específica de combinação (CEC) entre os genitores i e j ; neste modelo Y_{ij} ;

ε_{ij} – são, respectivamente, a média experimental e o erro aleatório médio associado ao tratamento de ordem ij .

Para a capacidade geral de combinação, elaborou-se um *ranking* envolvendo os componentes primários de produção (NVP, NGV e M100G) e a produtividade de grãos (PG), a partir de escala de notas atribuídas às maiores estimativas da CGC (g_i) e respectivas médias (μ), conforme proposto por Daronch et al. (2014). Atribuíram-se valores de 1 a 7, em ordem decrescente de importância, recebendo a atribuição 1 (um) o genitor que apresentou a menor capacidade geral de combinação e valor 7 (sete) o genitor com maior valor para CGC. O mesmo critério foi adotado para a média (μ). Posteriormente, ranquearam-se os genitores de acordo com as maiores médias, considerando as notas recebidas.

As análises estatísticas dos dados foram verificadas com auxílio do Programa Computacional GENES (Cruz, 2007).

3 Resultados e Discussão

A análise de variância evidenciou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos para todos os atributos, nas duas gerações (Tabela 1). Essas diferenças podem ser conferidas na dissimilaridade genética entre os genitores envolvidos no cruzamento, uma vez que estes foram previamente escolhidos com base em procedimentos multivariados e, também, na presença de variabilidade genética de diferentes magnitudes nas populações híbridas. Os coeficientes de variação para os atributos divergiram de 0,72 a 8,14%, indicando eficiente controle das causas de variação do ambiente, estando de acordo com o apresentado na literatura para a cultura da soja (Storck et al., 2010).

Tabela 1. Resumo da análise de variância (híbridos F1, populações F2 e genitores) e significância dos quadrados médios para capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) para seis atributos agrônômicos, Gurupi, Tocantins.

Table 1. Summary of variance analysis (F₁ hybrids, F₂ populations and parents) and significance of the mean squares for general combining ability (CGA) and specific combining ability (SCA) for six agronomic attributes. Gurupi, Tocantins, Brazil.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		NDF	NDM	NGV	NVP	M100G	PG
Geração F1							
Genótipos	27	29,31**	26,42**	0,10**	1249,53**	9,51**	41,62**
Resíduo	56	0,58	0,63	0,01	23,77	0,61	1,09
Média		42	110	2,09	75,46	11,22	16,57
CV (%)		1,80	0,72	5,78	6,46	6,96	6,31
CGC	6	21,71	12,15	0,09	2177,73	24,73*	30,50
CEC	21	25,77**	30,50**	0,10**	984,37**	5,16**	44,80**
Geração F2							
Genótipos	27	13,50**	40,19**	0,04**	806,85**	3,08**	31,04**
Resíduo	54	0,41	0,87	0,01	19,80	0,38	1,26
Média		41	109	1,97	59,71	12,43	13,80
CV (%)		2,05	1,56	4,39	7,45	5,02	8,14
CGC	6	19,51	48,29	0,08*	1377,10	2,43	65,99
CEC	21	12,17**	36,79**	0,02**	643,97**	3,26**	20,94**

NDF – Número de dias para florescimento; NDM – Número de dias para maturação; NGV – Número de grãos por vagem; NVP – Número de vagens por planta; M100G – Massa de cem grãos, em gramas; PG – Produtividade de grãos por planta, em gramas. CV – Coeficiente de variação. * e ** significativos pelo teste F a 5% e 1%, respectivamente.

A análise de variância revelou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) quanto à capacidade geral de combinação (CGC) apenas para os atributos M100G (geração F1) e NGV (geração F2), indicando que, para os demais, os genitores apresentaram variâncias genéticas aditivas semelhantes. Quanto à capacidade específica de combinação (CEC), todos os atributos apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,01$) nas duas gerações, evidenciando discrepâncias quanto aos efeitos gênicos não aditivos na análise dos cruzamentos. Tais resultados corroboram parcialmente com observações feitas por Daronch et al. (2014), ao identificarem significância tanto para CGC quanto para CEC em atributos produtivos de populações segregantes de soja.

A julgar pela significância do quadrado médio, pode-se afirmar que, nesse conjunto de genitores, os efeitos da CEC possuem maior importância que os da CGC, uma vez que o componente quadrático associado à CEC foi significativo ($p \leq 0,01$) para todos os atributos, de forma a realçar a maior contribuição da ação gênica não aditiva no controle destes atributos. Esses resultados estão de acordo com Bhor et al. (2014), que, estudando a perspectiva de melhoramento de cruzamentos dialélicos para a produtividade de grãos de soja, também identificaram o predomínio da CEC, caracterizando

a sobreposição dos efeitos não aditivos diante dos aditivos na variação entre os cruzamentos.

É importante ressaltar que, em se tratando de soja, cujo produto final do melhoramento são linhagens homocigóticas que carregam efeitos aditivos e epistáticos do tipo aditivo \times aditivo, a predominância de genes não aditivos no controle dos atributos pode dificultar o ganho de seleção, visto que, dependendo da quantidade de genes que controlam o atributo em questão, torna-se complexo encontrar o indivíduo homocigoto sobre o qual recairão todos os genes favoráveis à expressão do fenótipo (Vencovsky & Barriga, 1992).

As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (g_i) de cada genitor estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3. Conforme Cruz et al. (2012), estimativa baixa de g_i (efeitos da CGC) para um determinado atributo indica que a CGC do genitor i , com base em seus cruzamentos, não difere da média geral do dialelo. Por outro lado, valores elevados de g_i , positivos ou negativos, revelam que o genitor i é superior ou inferior, respectivamente, aos demais genitores. Assim, verificou-se que os genitores diferiram entre si na frequência dos alelos favoráveis, de forma que é possível identificar genitores promissores à formação de novas populações, tendo em vista os diferentes atributos estudados.

Tabela 2. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (g_i) e suas respectivas médias (μ), de sete genitores para os atributos número de dias para florescimento (NDF), número de dias para maturação (NDM) e número de vagens por planta (NVP), nas gerações F1 e F2, Gurupi, Tocantins.

Table 2. Estimates of the effects of general combining ability (g_i) and its means (μ) of seven parents for the number of days to flowering (NDF), number of days to maturation (NDM) and number of pods per plant (NVP) in F₁ and F₂ generations. Gurupi, Tocantins, Brazil.

Genitor	NDF				NDM				NVP			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	g_i	μ	g_i	μ								
A-7002	-0,89	40	-0,20	40	-0,26	106	-1,17	106	9,95	98	-14,40	67
M-8867	0,38	46	1,90	45	-0,25	112	2,66	113	14,10	119	11,80	110
P98Y51	1,52	44	0,02	43	1,00	108	0,66	110	-0,63	88	2,75	80
M-8360	-2,06	40	-1,65	39	-0,69	106	-2,22	106	-9,78	59	-4,88	59
P99R01	0,12	46	0,23	45	0,58	113	0,44	114	-1,77	108	7,17	107
BRS Valiosa	-0,74	41	-0,09	40	-0,10	112	0,44	108	-8,52	56	-4,71	56
M-9350	0,38	44	-0,14	44	0,58	109	-0,22	110	-3,44	66	2,19	70

Tabela 3. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (g_i) e suas respectivas médias (μ), de sete genitores para os atributos número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PG), nas gerações F1 e F2, Gurupi, Tocantins.

Table 3. Estimates of the effects of general combining capacity (g_i) and its means (μ) of seven parents for the number of grains per pod (NGP), one hundred grain mass (M100G) and grain yield (GY) in F₁ and F₂ generations. Gurupi, Tocantins, Brazil.

Genitor	NGV				M100G				PG			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	g_i	μ										
A-7002	0,00	2,07	-0,06	1,7	0,36	10,4	-0,52	10,2	0,52	21,4	-4,01	11,21
M-8867	-0,05	2,10	-0,04	1,9	-1,46	11,1	-0,53	11,2	1,58	22,7	1,99	20,9
P98Y51	-0,06	1,93	-0,04	1,9	-1,20	10,8	0,11	10,6	-1,93	18,1	0,30	13,8
M-8360	0,09	2,25	0,08	2,1	1,13	13,3	0,34	13,5	0,00	16,5	-0,27	14,9
P99R01	0,07	1,88	-0,06	1,8	0,31	13,0	0,31	13,0	-0,12	19,5	1,24	20,9
BRS Valiosa	-0,02	2,42	0,05	2,2	0,41	13,1	0,15	12,9	-0,37	13,7	-0,13	14,6
M-9350	-0,03	2,02	0,07	2,1	0,45	11,0	0,14	12,3	-0,31	13,3	1,57	15,5

Miranda et al. (1988) ressaltam a importância de priorizar a inclusão de genitores com os maiores valores de CGC para composição do bloco de cruzamentos em programas de melhoramento genético de plantas, cujo objetivo seja a seleção de novos genótipos em gerações avançadas.

Considerando como objetivo a precocidade em genótipos de soja, os genitores M-8360 e A-7002 apresentaram as maiores estimativas negativas de g_i para NDF nas gerações F1 (-2,06 e -0,89, respectivamente) e F2 (-1,65 e -0,20, respectivamente). Os dois genitores apresentaram também as maiores estimativas negativa de g_i para NDM nas duas gerações. Essas observações, somadas ao fato de os genitores possuírem as menores médias de NDF e NDM, permitem afirmar que tais genitores reúnem alelos favoráveis para a diminuição da média desses dois atributos e, assim, indicados para hibridações visando a obtenção de linhagens de soja com ciclo precoce.

Ao contemplarem o ciclo vegetativo da cultura, Godoy et al. (2009) afirmam que a precocidade em cultivares de soja tem sido utilizada como uma importante estratégia para reduzir possíveis danos causados pela ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd.) às plantas.

Em relação aos atributos primários que compõem a produtividade de grãos em soja (NGV, NVP e M100G), o melhorista deve planejar qual estratégia para ganho de desempenho será seguida, de forma que a escolha dos genitores deve ser em função também do atributo que se pretende privilegiar.

Na literatura, diferentes autores indicam a existência de correlação positiva entre NGV e M100G, em que plantas com elevadas médias desses atributos apresentam produtividade de grãos superior (Souza et al., 2015; Teodoro et al., 2015). Em pensamento contrário, Board et al. (1997) e Pelúzio et al. (2005) afirmam que plantas com elevadas médias de NVP refletem em maiores produtividades de grão de soja, apesar de nem sempre se correlacionarem positivamente com M100G.

Dentre o grupo de genitores estudados, M-8360 apresentou valores positivos e elevados de g_i para o número de grãos por

vagem (NGV) e massa de 100 grãos (M100G) nas gerações F1 (0,09 e 1,13, respectivamente) e F2 (0,08 e 0,34, respectivamente), e médias elevadas para esses atributos em ambas as gerações (2,25 grãos e 13,3 gramas, em F1; e 2,1 e 13,5 em F2), o que o coloca em posição de destaque em relação aos demais genitores.

Para NVP e PG, o genitor M-8867 apresentou os maiores valores g_i nas duas gerações (14,10 em F1 e 11,80 em F2) e PG (1,58 em F1 e 1,99 em F2). Além disso, apresentou as maiores médias para NVP (119 e 110 vagens) e para PG (22,7 e 20,9 gramas). Destaca-se, ainda, o genitor P99R01 nas duas gerações.

Na Tabela 4 apresenta-se a classificação dos genitores, a partir de escala de notas proposta por Daronch et al. (2014), considerando as estimativas da CGC (g_i) e respectivas médias (μ) para os componentes primários da produção (NVP, NGV e M100G) em soja.

Entre os sete genitores, o M-8867 recebeu a melhor classificação, seguido por P99R01 e M-8360, confirmando as afirmações feitas anteriormente com relação aos efeitos da CGC (Tabelas 2 e 3). Assim, para a GCG, esses genitores apresentam-se como potencialmente promissores para uso em programas de melhoramento intrapopulacional ou recombinado para a obtenção de segregantes superiores em gerações avançadas.

Nas Tabelas 5 e 6 são demonstram-se as estimativas da capacidade específica de combinação (CEC) das hibridações, com as respectivas médias para os atributos agrônomicos mensurados nas duas gerações. Conforme Cruz et al. (2012), a CEC (S_{ij}) é caracterizada como o desvio de um híbrido em relação a CGC de seus genitores, em que elevadas magnitudes de S_{ij} indicam se o cruzamento apresentou performance melhor (sinal positivo) ou pior (sinal negativo) do que o esperado. Apesar de observadas pequenas diferenças nas magnitudes dos efeitos estimados, as combinações superiores foram as mesmas nas duas gerações, indicando que os híbridos F1 e populações F2 tiveram o comportamento diferente do esperado com base na CGC de seus genitores.

Tabela 4. Ranking de genitores a partir de escala de notas atribuídas as maiores estimativas da CGC (g_i) e respectivas médias (μ) para os componentes primários da produção e produtividade de grãos em soja, Gurupi, Tocantins.

Table 4. Ranking of parents from the grading scale attributed to the highest CGA estimates (g_i) and its means (μ) for the primary components of soybean production and grain yield. Gurupi, Tocantins, Brazil.

Genitor	NVP		NGV		M100G		PG		Média			Ranking ¹								
	F1		F2		F1		F2		g_i	μ	Geral									
	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ												
A-7002	6	5	1	3	5	4	1	2	4	1	1	1	6	6	1	1	3,1	2,9	3,0	6°
M-8867	7	7	7	7	1	4	3	2	1	2	1	2	7	7	7	7	4,2	4,8	4,5	1°
P98Y51	5	4	5	5	1	1	3	2	2	2	3	2	1	4	4	2	3,0	2,8	2,9	7°
M-8360	1	2	2	2	7	6	7	2	7	5	7	7	5	3	2	4	4,8	3,9	4,3	3°
P99R01	4	6	6	6	6	1	1	2	3	5	6	5	4	5	5	6	4,4	4,5	4,4	2°
BRS Valiosa	2	1	3	1	3	7	5	2	5	5	5	5	2	2	3	3	3,5	3,3	3,4	5°
M-9350	3	3	4	4	3	3	6	2	6	2	4	4	3	1	6	5	4,4	3,0	3,7	4°

¹ Ranqueamento segundo critério proposto por Daronch et al. (2014). NVP – número de vagens por planta; NGV – número de grãos por vagem; M100G – massa de cem grãos; PG – produtividade de grãos.

Tabela 5. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (S_{ij}) e suas respectivas médias (μ), em 21 cruzamentos de soja para os atributos número de dias para florescimento (NDF), número de dias para maturação (NDM) e número de vagens por planta (NVP), nas gerações F1 e F2, Gurupi, Tocantins.

Table 5. Estimates of the effects of specific combining ability (S_{ij}) and its means (μ) on 21 soybean crosses for the number of days to flowering (NDF), number of days to maturation (NDM) and number of pods per plant (NVP) in F₁ and F₂ generations. Gurupi, Tocantins, Brazil.

	NDF				NDM				NVP			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	s_{ij}	μ										
1x2	2,64	43	-0,05	43	2,76	109	-1,13	109	19,3	88,0	-11,51	46
1x3	-1,50	40	-2,85	38	-1,15	106	-5,13	103	3,21	59,0	-6,43	41
1x4	-0,90	45	-3,06	37	-2,78	112	-5,25	100	-16,3	108,0	-6,41	34
1x5	2,24	46	3,61	45	3,43	112	7,08	115	24,3	56,3	-19,79	32
1x6	4,27	44	2,94	44	2,62	111	3,08	111	-20,5	66,0	-14,56	26
1x7	0,98	44	1,05	42	0,99	112	1,75	109	-15,9	64,0	-14,98	32
2x3	0,35	44	-0,27	43	1,54	110	3,41	116	-25,0	90,0	-9,09	65
2x4	2,94	42	3,38	45	1,91	111	6,30	116	35,8	83,6	14,91	81
2x5	0,76	43	-1,50	42	1,47	109	-5,36	107	2,10	94,3	-26,76	52
2x6	3,12	44	1,83	45	1,99	110	2,63	115	2,54	65,0	-11,37	55
2x7	-0,83	45	-3,05	40	-1,30	111	-2,69	109	8,13	70,0	0,46	74
3x4	1,79	40	1,27	41	0,32	110	1,30	109	-0,04	78,3	6,93	64
3x5	0,61	31	-2,61	39	1,21	111	-2,36	108	-3,09	60,6	-25,74	44
3x6	2,98	43	2,72	44	2,06	113	5,63	116	8,36	39,6	3,09	61
3x7	-0,64	40	-1,16	40	-1,20	110	-1,69	108	6,95	49,3	0,98	66
4x5	-0,12	38	-0,94	39	-1,41	116	1,52	109	-3,26	56,6	-4,43	58
4x6	-7,42	40	-3,81	37	-5,12	106	-6,10	99	-17,5	95,3	-4,48	46
4x7	2,94	38	-1,15	38	0,47	106	1,19	108	-12,9	98,3	-15,00	42
5x6	-0,94	38	-3,01	38	-2,67	105	-4,13	106	12,2	79,0	4,90	67
5x7	-0,57	41	-1,38	40	-1,63	110	-4,42	105	-13,6	73,0	4,06	73
6x7	-2,87	43	-0,05	41	7,43	110	3,52	113	31,8	40,0	10,80	68

Genitores: 1) A-7002; 2) M-8867; 3) P98Y51; 4) M-8360; 5) P99R01; 6) BRS Valiosa; 7) M-9350.

Tabela 6. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (S_{ij}) e suas respectivas médias (μ), em 21 cruzamentos de soja para os atributos número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (M100G) e produtividade de grãos (PG), nas gerações F1 e F2, Gurupi, Tocantins.

Table 6. Estimates of the effects of specific combining ability (S_{ij}) and its means (μ) on 21 soybean crosses for the number of grains per pod (NGP), one hundred grain mass (M100G) and grain yield (GY) in F₁ and F₂ generations. Gurupi, Tocantins, Brazil.

	NGV				M100G				PG			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	s_{ij}	μ										
1x2	0,03	1,93	-0,04	1,87	1,00	10,7	-0,35	11,02	4,05	18,1	-1,82	9,56
1x3	-0,09	2,24	0,01	1,68	0,35	13,1	1,05	13,07	1,86	16,5	0,25	10,35
1x4	0,35	2,02	0,14	2,10	1,05	13,3	0,52	12,57	-1,65	19,4	-0,49	9,02
1x5	-0,28	2,42	0,12	2,06	1,35	11,0	1,33	12,55	1,43	13,7	-1,23	9,80
1x6	0,07	1,88	-0,08	1,87	0,40	8,1	1,11	13,17	-4,02	13,3	-3,29	6,35
1x7	-0,05	2,07	0,00	1,97	-1,06	9,5	-2,40	9,83	-5,10	10,5	-4,30	6,75
2x3	0,09	2,12	-0,05	1,82	-0,39	8,8	0,17	11,18	-4,62	17,6	-1,14	14,55

Tabela 6. Continuação...

Table 6. Continuation...

	NGV				M100G				PG			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	S_{ij}	μ										
2x4	-0,30	2,10	-0,13	1,87	1,56	12,9	1,92	12,12	4,54	14,7	2,21	14,60
2x5	0,02	2,09	0,00	2,00	-0,90	11,7	0,21	12,42	0,69	24,0	-2,43	14,20
2x6	0,07	2,52	-0,05	1,92	-2,08	12,9	-0,09	11,95	-1,91	15,0	-2,77	12,48
2x7	-0,15	2,20	-0,02	1,98	2,73	12,5	2,32	13,56	6,62	17,8	3,47	17,01
3x4	0,41	2,37	0,15	2,14	-0,47	11,3	0,61	13,29	0,39	19,4	0,76	17,30
3x5	0,09	2,17	0,00	1,86	0,97	12,9	0,17	13,02	3,31	16,3	-4,55	10,80
3x6	-0,32	2,01	0,07	2,05	1,08	12,5	0,18	12,87	2,89	14,7	2,09	16,07
3x7	0,14	2,02	0,08	2,07	1,24	12,1	1,81	14,68	4,47	13,4	1,00	16,38
4x5	-0,07	2,12	0,07	2,05	1,03	12,5	-0,93	11,95	-0,11	15,7	-0,67	14,10
4x6	-0,15	2,13	0,01	2,11	-0,22	11,7	-0,24	12,48	-1,41	22,7	-1,39	11,99
4x7	-0,12	2,07	-0,01	2,11	0,15	10,4	-0,63	12,28	-3,82	21,4	-3,70	11,09
5x6	-0,07	1,81	-0,24	1,72	-1,36	7,4	-2,25	10,63	3,29	8,5	-2,51	12,40
5x7	-0,01	2,24	-0,10	1,88	0,51	11,4	0,56	13,63	-0,97	19,9	2,18	18,50
6x7	0,09	2,08	0,05	2,15	-1,05	15,1	0,82	13,72	6,25	13,3	5,72	20,56

Genitores: 1) A-7002; 2) M-8867; 3) P98Y51; 4) M-8360; 5) P99R01; 6) BRS Valiosa; 7) M-9350.

Para o desenvolvimento de híbridos, Vencovsky & Barriga (1992) recomendam que o valor da CEC seja de alta magnitude e, ainda, que pelo menos um dos genitores apresente alta CGC. Assim, para NDF, a hibridação M-8360 × BRS Valiosa apresentou a maior estimativa negativa de S_{ij} na geração F1 (-7,42) e na geração F2 (-3,81). Ao considerarmos que essa hibridação também apresentou a maior estimativa negativa de S_{ij} para NDM nas duas gerações ($S_{ij} = -5,12$ em F1, e $S_{ij} = -6,10$ em F2), é possível afirmar quanto a seu potencial para redução desses atributos em seus descendentes, ou seja, almejando a obtenção de linhagens de ciclo precoce.

Para o atributo NVP, efeitos elevados e positivos da CEC foram observados na hibridação M-8867 × M-8360, que apresentou as maiores estimativas nas duas gerações ($S_{ij} = 35,8$ em F1, e $S_{ij} = 14,91$ em F2). A hibridação BRS Valiosa × M-9350 apresentou comportamento semelhante, com estimativas elevadas e positivas em ambas as gerações ($S_{ij} = 31,8$ em F1, e $S_{ij} = 10,80$ em F2). Tais resultados indicam que o uso dos referidos genitores em programas de melhoramento favorece a obtenção de progênies promissoras, de onde poderão ser extraídas linhagens superiores.

Para o atributo NGV (Tabela 6), observaram-se efeitos elevados e positivos da CEC na hibridação P98Y51 × M-8360, que apresentou as maiores estimativas tanto em F1 ($S_{ij} = 0,41$) quanto em F2 ($S_{ij} = 0,15$), revelando que o uso dos referidos genitores promove o incremento no número de grãos por vagem em populações de soja derivadas dessa hibridação. Essa afirmação é reforçada ao considerar a alta média apresentada pelo híbrido (2,37 grãos em F1) e população (2,14 grãos em F2) para esse atributo.

Quanto à M100G, a combinação híbrida M-8867 × M-8360 apresenta desempenho promissor, uma vez que foram observados elevados efeitos positivos da CEC nas duas gerações ($S_{ij} = 1,56$ em F1 e $S_{ij} = 1,92$ em F2).

No que diz respeito ao atributo PG (Tabela 6), efeitos elevados e positivos da CEC foram verificados na combinação híbrida M-8867 × M-9350, que exibiu maior estimativa na geração F1 ($S_{ij} = 6,62$) e a segunda maior na geração F2 ($S_{ij} = 3,47$). Tal cruzamento também apresentou elevadas médias para o atributo em seu híbrido (17,8 gramas em F1) e população (17,01 grãos em F2), 23,3% acima da média geral do dialelo (13,8 gramas). Destacam-se, ainda, nas duas gerações, as hibridações BRS Valiosa × M-9350, M-8867 × M-8360 e P98Y51 × M-9350.

Para o conjunto de atributos agrônômicos, nas gerações F1 e F2, a hibridação M-8867 × M-8360 é a mais favorável, uma vez que possui as mais altas estimativas de CEC (Tabelas 5 e 6), as maiores médias (Tabelas 2 e 3), além de ser composta pelos dois genitores mais bem ranqueados, a partir da CGC (Tabela 4).

A superioridade de alguns genitores pode estar relacionada à maior concentração de alelos que coordenam características adaptativas ao ambiente de cultivo. Reina et al. (2014), em estudos quanto à eficiência nutricional em genótipos de soja, observaram desempenho destacado na cultivar M-8867, ao apresentar maior índice de eficiência no uso de fósforo para acúmulo de óleo e carboidratos nos grãos. Os autores identificaram efeito significativo entre cultivares, atribuindo caráter genético à variabilidade da população. Em avaliações similares, Colombo et al. (2016) observaram maior responsividade ao uso do fósforo na cultivar M-9350. De acordo com os autores, o genótipo

possivelmente reúne algum mecanismo fisiológico favorável à utilização e incorporação do nutriente.

Chama-se atenção para o fato de as combinações híbridas de destaque terem apresentado desempenho superior tanto na geração F1 (com relação à performance dos híbridos) quanto na geração F2 (com relação à performance das populações), de modo que, mesmo com o avanço de geração e início da segregação dos alelos, a análise dialélica conseguiu diferenciar o comportamento dos indivíduos e identificar os mais divergentes e promissores.

4 Conclusões

Os genitores M-8360 e A-7002 reúnem alelos favoráveis à diminuição do número de dias para florescimento e número de dias para maturação em soja.

A hibridação M-8360 × BRS Valiosa é promissora à obtenção de linhagens de soja com ciclo precoce.

Os genitores M-8360 e M-8867 são favoráveis ao uso em programas de melhoramento populacional voltados a incrementos nos componentes de produção.

A hibridação M-8867 × M-8360 é propícia para a formação de segregantes superiores.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS. *Brasil: exportações do complexo soja*. São Paulo: Abiove, 2018. 8 p.

BILYEU, K.; RATNAPARKHE, M. B.; KOLE, C. (Ed.). *Genetics, genomics, and breeding of soybean*. New York: CRC, 2016. 350 p.

BHOR, T. J.; CHIMOTE, V. P.; DESHMUKH, M. P. Genetic analysis of yield and yield components in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Indian Journal Agricultural Research*, v. 48, n. 6, p. 446-452, 2014. doi: 10.5958/0976-058X.2014.01328.6.

BOARD, J. E.; KANG, M. S.; HARVILLE, B. G. Path analysis identify indirect selection criteria for yield of late-planted soybean. *Crop Science*, v. 37, n. 3, p. 879-884, 1997. doi: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700030030x.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Projeções do agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/27: projeções de longo prazo*. Brasília, DF: Mapa, 2017. 103 p.

CARNEIRO FILHO, A.; COSTA, K. *A expansão da soja no cerrado: caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável*. São Paulo: Agroicone, 2016. 30 p.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. PIB de cadeias agropecuárias. *Esalq-USP*, Piracicaba, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2psKNKR>. Acesso em: 28 jun. 2018.

COLOMBO, G. A.; PELÚZIO, J. M.; PIRES, L. P. M.; DARONCH, D. J.; MACHADO FILHO, G. C. Phosphorus use efficiency of soybean cultivars in Cerrado conditions of Tocantins, Brazil. *Journal of Bioenergy and Food Science*, v. 3, n. 1, p. 42-49, 2016. doi: 10.18067/jbfs.v3i1.53.

CRUZ, C. D. *Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. 648 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. *Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 512 p.

DARONCH, D. J.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; NASCIMENTO, M. O. Capacidade combinatória de cultivares de soja em F2, sob condições de cerrado tocantinense. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 5, p. 688-695, 2014.

DEL CONTE, M. V. *Uso de modelos mistos no melhoramento da soja para teores de óleo e proteína nos grãos*. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biology Sciences*, v. 9, n. 3, p. 463-493, 1956. doi: 10.1071/BI9560463.

GODOY, C. V.; FLAUSINO, A. M.; SANTOS, L. C. M.; DEL PONTE, E. M. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. *Tropical Plant Pathology*, v. 34, n. 1, p. 56-61, 2009. doi: 10.1590/S1982-56762009000100011.

MATSUO, E.; SEDIYAMA, T.; FERREIRA, S. C.; GLASENAPP, J. S. Hibridação. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). *Melhoramento genético da soja*. Londrina: Mecenias, 2015. p. 57-72.

MIRANDA, J. E. C.; COSTA, C. P.; CRUZ, C. D. Análise dialélica em pimentão: capacidade combinatória. *Revista Brasileira de Genética*, v. 11, n. 2, p. 431-440, 1988.

OLIBONI, R.; FARIA, M. V.; NEUMANN, M.; RESENDE, J. T. V.; BATTISTELLI, G. M.; TEGONI, R. G.; OLIBONI, D. F. Análise dialélica na avaliação do potencial de híbridos de milho para a geração de populações-base para obtenção de linhagens. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 1, p. 7-18, 2013. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n1p7.

PELÚZIO, J. M.; ALMEIDA, R. D.; FIDELIS, R. R.; ALMEIDA JUNIOR, D.; BRITO, E. L.; FRANCISCO, E. R. Correlações entre caracteres de soja, em Gurupi, Tocantins. *Ceres*, v. 52, n. 303, p. 779-786, 2005.

PELÚZIO, J. M.; VAZ-DE-MELO, A.; AFFÉRI, F. S.; SILVA, R. R.; BARROS, H. B.; NASCIMENTO, I. R.; FIDELIS, R. R. Variabilidade genética entre cultivares de soja, sob diferentes variações edafoclimáticas. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v. 2, n. 3, p. 21-40, 2009.

PEREIRA, F. A. C.; VELLO, N. A.; ROCHA, G. A. F.; DIDONE, C. A. Rust effect estimation in soybean crosses for tolerance to Asian rust. *Ciência Rural*, v. 48, n. 3, p. e20170496, 2018. doi: 10.1590/0103-8478cr20170496.

PINTO, R. J. B. *Introdução ao melhoramento genético de plantas*. 2. ed. Maringá: Eduem, 2009. 351 p.

REINA, E.; PELÚZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; OLIVEIRA JUNIOR, W. P.; SIEBENEICHLER, S. C. Genetic divergence and phosphorus use efficiency in the soybean with a view to biodiesel production. *Ciência Agrônômica*, v. 45, n. 2, p. 344-350, 2014. doi: 10.1590/S1806-66902014000200016.

SEDIYAMA, T.; MATSUO, E.; OLIVEIRA, R. C. T.; GLASENAPP, J. S. Desenvolvimento de cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). *Melhoramento genético da soja*. Londrina: Mecenias, 2015. p. 83-93.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenas, 2009. 314 p.

SOUZA, V. Q.; BELLÉ, R.; FERRARI, M.; PELEGRIN, A. J.; CARON, B. O.; NARDINO, M.; FOLLMANN, D. N.; CARVALHO, I. R. Componentes de rendimento em combinações de fungicidas e inseticidas e análise de trilha em soja. *Global Science and Technology*, v. 8, n. 1, p. 167-176, 2015. doi: 10.14688/1984-3801/gst.v8n1p167-176.

STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A. D.; MISSIO, E. L.; RUBIN, S. A. L. Avaliação da precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de soja. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 3, p. 572-578, 2010. doi: 10.1590/S1413-70542010000300007.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORRÊA, C. C. G.; LUZ JÚNIOR, R. A. A.; ZANUNCIO, A. S.; CAPRISTO, D. P.; TORRES F. E. Path analysis in soybean genotypes as function of growth habit. *Bioscience Journal*, v. 31, n. 3, p. 794-799, 2015. doi: 10.14393/BJ-v31n1a2015-26094.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *World agricultural supply and demand estimates*. Washington, DC: USDA, 2018. 40 p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 462 p.

Contribuição dos autores: Gustavo André Colombo conduziu os experimentos e contribuiu diretamente na escrita científica do trabalho; Edmar Vinícius de Carvalho auxiliou nos experimentos e nas análises estatísticas; Douglas José Daronch contribuiu com a discussão dos resultados e correção da escrita científica; Joenes Mucci Peluzio orientou o planejamento experimental, a escrita científica e as análises estatísticas.

Agradecimentos: À Universidade Federal do Tocantins (UFT) e ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelo suporte para a realização deste trabalho.

Fontes de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.