



**Universidade Federal do Tocantins
Campus universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

GUSTAVO ANDRÉ COLOMBO

**ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA
PARA BAIXAS LATITUDES NO CERRADO**

GURUPI – TO

2016



**Universidade Federal do Tocantins
Campus universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

GUSTAVO ANDRÉ COLOMBO

**ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA
PARA BAIXAS LATITUDES NO CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Joenes Mucci Peluzio

GURUPI – TO

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

C718e Colombo, Gustavo André.

Estratégias de seleção em populações segregantes de soja para baixas latitudes no cerrado. / Gustavo André Colombo. – Gurupi, TO, 2016.

58 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Produção Vegetal, 2016.

Orientador: Joenes Mucci Peluzio

1. Melhoramento genético. 2. Análise dialética. 3. Análise de trilha. 4. Tocantins. I. Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL
CÂMPUS DE GURUPI


Rua Badejós, Lote 07 Chácaras 69 e 72 – Zona Rural | 77402-970 | Gurupi/TO
(63) 3311-3513 | www.uft.edu.br/producaovegetal | producaovegetal@uft.edu.br




ATA 13/2016


ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE GUSTAVO ANDRÉ COLOMBO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS


Aos 12 dias do mês de Dezembro do ano de 2016, às 8:30 horas, na Sala 02 do Prédio PG-PV, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. JOENES MUCCI PELUZIO do Câmpus Universitário de Palmas/ Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. HÉLIO BANDEIRA BARROS, do Câmpus Universitário de Gurupi/ Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. MANOEL MOTA DOS SANTOS, do Câmpus Universitário de Gurupi/ Universidade Federal do Tocantins, Prof. Dr. DOUGLAS JOSÉ DARONCH, do Câmpus Formoso do Araguaia/ Instituto Federal do Tocantins, e Dr. EDMAR VINÍCIUS DE CARVALHO, do Câmpus Universitário de Gurupi/ Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de GUSTAVO ANDRÉ COLOMBO, intitulada "*ESTRATÉGIAS DE SELEÇÃO EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA PARA BAIXAS LATITUDES NO CERRADO*". Após a exposição, a discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, habilitando-o ao título de Doutor em Produção Vegetal. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Dr. Hélio Bandeira Barros
Universidade Federal do Tocantins/ Gurupi


Dr. Manoel Mota dos Santos
Universidade Federal do Tocantins/ Gurupi


Dr. Douglas José Daronch
Instituto Federal do Tocantins/ Formoso do Araguaia


Dr. Edmar Vinicius de Carvalho
Universidade Federal do Tocantins/ Gurupi


Dr. Joenes Mucci Peluzio
Universidade Federal do Tocantins
Orientador e presidente da banca examinadora

Gurupi, 12 de Dezembro de 2016


Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido a força e coragem necessárias para enfrentar todas as dificuldades e concluir este trabalho.

À minha família, pais, irmãos e namorada, pelo apoio e incentivo constantes ao longo desta jornada.

Ao programa de pós-graduação em Produção Vegetal (UFT/Gurupi) e a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Joenes Mucci Peluzio, pela orientação, ensinamentos e amizade que levarei por toda a vida.

Aos membros da banca examinadora Hélio Bandeira Barros, Manoel Mota dos Santos, Douglas José Daronch e Edmar Vinícius de Carvalho, pelas colaborações grande relevância no aprimoramento desse trabalho.

A todos os professores da UFT que contribuíram para minha formação acadêmica.

E a todos não mencionados aqui, que, de alguma forma, fizeram parte desta minha importante vitória.

SUMÁRIO

	Lista de Tabelas	v
1	INTRODUÇÃO GERAL	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1	A cultura da soja: Importância e perspectivas	8
2.2	Atributos de interesse ao melhoramento genético da soja	9
2.3	Análise dialéctica	10
2.4	Análise de trilha	12
2.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
3	CAPÍTULO 1 - CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE GENÓTIPOS DE SOJA SOB CONDIÇÕES DE BAIXA LATITUDE	21
3.1	Introdução	23
3.2	Material e Métodos	24
3.3	Resultados e discussão	26
3.4	Conclusões	35
3.5	Referências Bibliográficas	35
4	CAPÍTULO 2 - CORRELAÇÕES E ANÁLISE DE TRILHA EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA EM DIFERENTES GERAÇÕES	40
4.1	Introdução	42
4.2	Material e Métodos	43
4.3	Resultados e discussão	45

4.4	Conclusões	54
4.5	Referências Bibliográficas	54

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

- Tabela 1.** Resumo da análise de variância (híbridos F1 e genitores) e significância dos quadrados médios para capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) para seis atributos agronômicos, Gurupi-TO, 2012 27
- 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 29
- 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 30
- 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 30
- 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 32
- 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 34

Capítulo 2

- Tabela 1.** Resumo da análise de variância individual entre vinte e uma populações segregantes de soja, nas gerações F2, F3 e F4, para seis atributos agronômicos, Gurupi-TO 45

Tabela 2.	Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre atributos agronômicos de vinte e uma populações segregantes de soja, em três gerações (F2, F3 e F4), Gurupi-TO	47
Tabela 3.	Efeitos diretos e indiretos dos atributos primários - número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (M100G) - sobre a produtividade de grãos (PG), estimados por meio de análise de trilha, a partir da matriz de correlação de Pearson, com vinte e uma populações segregantes de soja, em três gerações (F2, F3 e F4), Gurupi-TO	49
Tabela 4.	Efeitos diretos e indiretos dos atributos secundários - número de dias para o florescimento (NDF) e número de dias para a maturação (NDM), sobre os atributos primários - número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (M100G) - estimados por meio de análise de trilha com vinte e uma populações segregantes de soja, em três gerações (F2, F3 e F4), Gurupi-TO	51
Tabela 5.	Efeitos diretos e indiretos dos atributos secundários - número de dias para o florescimento (NDF) e número de dias para a maturação (NDM) - sobre a produtividade de grãos por planta, via atributos primários, estimados por meio de análise de trilha com vinte e uma populações segregantes de soja, em três gerações (F2, F3 e F4), Gurupi-TO	53

1. INTRODUÇÃO GERAL

A pesquisa em genética e melhoramento de plantas tem contribuído significativamente para o sucesso da cultura da soja no Brasil. Os ganhos em produtividade associados à expansão das fronteiras agrícolas, especialmente para as áreas de cerrados, são provas do benefício proporcionado pela obtenção de genótipos mais produtivos e adaptados a diferentes ambientes.

O melhoramento genético da soja é um processo contínuo de desenvolvimento de novas cultivares, com objetivo de superar as limitações impostas por fatores bióticos e abióticos que interferem no desempenho produtivo da soja. Condições edafoclimáticas diversas e disparidades entre o nível tecnológico empregado são responsáveis pela grande variação de produtividade observada em áreas comerciais. Assim, os programas de melhoramento devem buscar atender as particularidades dos ambientes e agricultores, visando obter materiais genéticos adaptados e produtivos.

Hibridações artificiais são tradicionalmente empregadas como mecanismo para promover variabilidade genética à soja. Com o cruzamento de genitores geneticamente distintos, são geradas populações segregantes promissoras à aplicação de métodos de seleção indivíduos superiores.

Esforços têm sido feitos no sentido de entender e explorar a variabilidade dos atributos relacionados à produção de grãos. A utilização de modelos genético-estatísticos como a análise dialélica é estratégia importante na escolha de genitores com base nos seus valores genéticos, principalmente considerando a capacidade de se combinarem em híbridos que produzam populações segregantes para seleção de linhagens promissoras. Por meio desse método é possível conhecer também o controle genético dos caracteres, que orienta na condução das populações segregantes e a seleção.

A obtenção de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos, tais como herdabilidade e correlações, também merece atenção especial em programas de melhoramento genético, pois possibilitam a tomada de decisões relacionadas com a escolha do método de seleção mais apropriado, os atributos que devem ser selecionados em etapas iniciais e avançadas do programa, e também o peso que deve ser atribuído a cada caráter, separadamente ou em conjunto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da soja: Importância e perspectivas

A soja (*Glycine max* L. Merrill.) representa a principal oleaginosa produzida e consumida mundialmente. Importante fonte de proteína e lipídeo vegetal, é usualmente comercializada em forma de grão, farelo e óleo (bruto e refinado), dependendo da forma de consumo, podendo ser de uso animal ou humano (MARTIN et al., 2006). Por ser matéria-prima para diferentes civilizações, a soja conseguiu se destacar na economia mundial, sendo considerada a cultura que mais cresceu em área cultivada (crescimento de 52%) e importância nas últimas décadas (FREITAS, 2011).

O Brasil é o segundo produtor mundial de soja, onde a cultura constitui-se como a mais expressiva oleaginosa cultivada. Anualmente, o complexo soja agrega à balança comercial brasileira mais de 10 bilhões de dólares, além de outros 50 bilhões de dólares gerados em benefícios indiretos na sua extensa cadeia produtiva composta por aproximadamente 4,5 milhões de empregos (HIRAKURI e LAZZAROTTO, 2011).

Na safra 2015/2016, a produção brasileira de soja alcançou mais de 95 milhões de toneladas cultivadas em 33,2 milhões de hectares, o que representa apenas 6,7% da área agrícola do país. A produtividade média nacional foi 2.870 kg ha⁻¹, com destaque para os estados da região Sul e Sudeste, com produtividades médias acima de 3.000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016).

Ao tomar como referência o cenário internacional, dentre os grandes países com aptidão agrícola, o Brasil figura como o que apresenta as melhores condições para expandir a produção e promover o esperado aumento na oferta de alimentos (TORRES et al., 2015). O ecossistema dos Cerrados apresenta mais de 50 milhões de hectares de terras ainda inexploradas, além de possuir condições topográficas favoráveis, caracterizando-se em uma região apta à incorporação ao processo produtivo das grandes culturas (SILVA e MIZIARA, 2011).

Devido ao desenvolvimento científico agrícola para as regiões de baixa latitude dos cerrados, o Brasil atualmente possui uma nova fronteira agrícola denominada MATOPIBA, que é um acrônimo que diz respeito às iniciais dos Estados produtores de grãos do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Na safra 2015/16, a região cultivou 3,75 milhões de hectares com soja, que representa 11,3% da área ocupada pela oleaginosa no país (CONAB, 2016).

Apesar do bom estabelecimento da soja em áreas de cerrado, alguns fatores ainda limitam a expressão do potencial produtivo da cultura, principalmente aqueles relacionados à

tolerância a estresses climáticos. O déficit hídrico, quando combinado com temperaturas próximas a 40°C, acarreta em redução do ciclo vegetativo, redução na absorção de nutrientes, menor produção e acúmulo de fotoassimilados, com conseqüente decréscimo na produção (EMBRAPA, 2010). Irregularidades climáticas, principalmente em precipitação pluvial, observadas nas últimas safras comprometeram consideravelmente a produção em áreas do MATOPIBA. Diante dos múltiplos fatores limitantes a cultura, Costa et al. (2004) alertam para a necessidade de esforço contínuo do melhoramento genético para identificação e seleção de indivíduos superiores frente aos estresses bióticos e abióticos.

2.2 Atributos de interesse ao melhoramento genético da soja

No desenvolvimento de novas cultivares de soja, diferentes atributos devem ser considerados. Além de altamente produtivo, o genótipo deve ser estável e adaptado as diferentes condições ambientais da região (BARROS et al., 2008; PELUZIO et al., 2008). Segundo Carvalho et al. (2008) a estabilidade de produção é conferida pela introdução de resistência a doenças e pragas, além da introdução de atributos especiais para tolerância aos fatores limitantes relacionados com o solo e clima como adaptações no sistema radicular e aprimoramento da eficiência fisiológica.

Os genótipos modernos avançaram consideravelmente em atributos importantes para a adaptação da soja aos solos de cerrado como o fotoperíodo, tolerância à acidez do solo, resistência às doenças de final de ciclo, além da introdução de genes de resistência que facilitaram o manejo da cultura como o “*Roundup Ready*”, já amplamente difundido no Brasil, e a soja “*Intacta*”, que confere resistência a algumas pragas mastigadoras da cultura (BERNARDI, 2012). O desenvolvimento de genótipos superiores resultou em incremento médio de 39 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na produtividade da soja, entre 1976/77 até 2015/16 (CONAB, 2016).

Considerando que a expansão de novas áreas de cultivo possui um limitante (DOMINGUES e BERMANN, 2012), as novas cultivares devem possuir alto desempenho em termos de produtividade e conciliar diferentes atributos que hoje são o novo padrão tecnológico nos campos produtivos de baixa latitude, como materiais de hábito indeterminado, ciclo precoce, além de resistência as diferentes doenças e nematóides.

A preferência dos produtores por cultivares de hábito indeterminado está, em grande parte, no potencial de recuperação das plantas após períodos de estiagem, já que o período de florescimento das plantas é longo e ocorre de forma escalonada, possibilitando que a mesma se recupere em condições climáticas adversas (BAIGORRI e GASSEN, 2009). Arquitetura de

planta compacta com folhas mais eretas e lanceoladas também são características favoráveis ao manejo da cultura (PROCÓPIO et al., 2013; SOUZA et al., 2014).

Outra demanda crescente dos sojicultores é por cultivares de ciclo precoce, visto a possibilidade de escalonamento da safra, menor gasto com defensivos, além de favorecerem a prática da safrinha (INOUE et al., 2012). Diante disto, com o objetivo de indicar cultivares promissoras ao oeste baiano, Cruz et al. (2010) avaliaram o desempenho agrônômico de treze genótipos de ciclo precoce e médio, em condições de plantio direto. Os autores observaram resultados promissores em genótipos pertencentes ao grupo de maturação 7.9, com massa de mil grãos em torno de 213 gramas, e produtividade de grãos acima de 4.000 kg ha⁻¹. Essa mesma tendência foi relatada por Ribeiro et al. (2016) que, ao avaliarem o desempenho agrônômico de diferentes cultivares de soja (grupo de maturação 7.9 a 8.5) na região central do Tocantins, observaram massa de mil grãos de até 198,7 gramas em cultivares precoces.

2.3 Análise dialélica

Uma das premissas para a obtenção de ganhos com a seleção é a existência de variabilidade genética na população, de modo a proporcionar aumento da frequência de alelos favoráveis e de maior adaptação às condições edafoclimáticas regionais (FALCONER, 1987; FONSECA et al., 2006). Mas no caso da soja, diferentes autores relatam a perda de variabilidade nas populações de soja brasileira, após décadas de seleção (HIROMOTO e VELLO, 1986; MULATO et al., 2010), de forma que a hibridação surge como principal alternativa para gerar variabilidade genética na cultura (CRUZ et al., 2012).

Ao iniciar um programa de melhoramento de soja, uma das principais dificuldades enfrentadas pelo melhorista é a escolha dos genitores que irão dar origem a combinação híbrida para extração de linhas puras. Essa escolha baseia-se normalmente no desempenho e capacidade de combinação dos parentais e, considerando esse último critério, busca-se separar esses genitores em grupos divergentes e complementares, de modo a favorecer a máxima variabilidade (BALESTRE et al., 2008). Uma escolha equivocada pode gerar populações segregantes com baixa variabilidade genética, resultando em perda de tempo e capital financeiro envolvido no processo. Neste sentido, ferramentas foram desenvolvidas para auxiliar o melhorista no julgamento dos genitores quanto ao seu potencial e dissimilaridade (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Uma das metodologias mais eficientes e comumente utilizadas em programas de melhoramento genético é a análise dialélica, a qual 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).

O conceito da análise dialélica foi introduzido por Sprague e Tatum (1942), utilizado para expressar um conjunto de $n(n-1)/2$ híbridos, resultante do acasalamento entre n genitores, os quais podem ser avaliados através de metodologias de análise dialélica, podendo incluir, além dos pais, os híbridos recíprocos e/ou outras gerações relacionadas, tais como retrocruzamentos e F2's. (CRUZ et al., 2012).

Baseado nos cruzamentos dialélicos, o método desenvolvido por Griffing (1956) estima tanto a capacidade geral como a capacidade específica de combinação, além dos efeitos gênicos extranucleares, quando os recíprocos estão presentes.

A capacidade geral de combinação (CGC) refere-se à performance média do genitor em combinações híbridas. De acordo com Vencovsky (1992), considerando um loco com dois alelos, a CGC é obtida pela expressão:

$$CGC = (p_i - \bar{p}) [a + (1 - 2t) d],$$

em que: p_i é a frequência do alelo favorável para o referido loco na linhagem sob avaliação; \bar{p} é a frequência alélica média de todas as linhagens que estão sendo avaliadas; t é a frequência alélica do testador utilizado; a é o desvio dos locos em homozigose em relação à média, ou seja, os efeitos aditivos; e d é o desvio do heterozigoto em relação à média, isto é, os efeitos de dominância.

Segundo Krause et al. (2012), a baixa estimativa de CGC, positiva ou negativa, indica que o genitor não difere muito da média geral da população dialélica. Em contrapartida, altos valores de CGC, positivos ou negativos, sugerem que o genitor em questão é muito superior ou inferior aos demais genitores do dialelo, com relação ao desempenho médio das progênes. Dessa forma, valores superiores de capacidades de combinação são esperados para genótipos cujas frequências de alelos favoráveis são elevadas.

A capacidade específica de combinação (CEC) é interpretada como um efeito na expressão do híbrido que é adicional aos efeitos de CGC dos pais, podendo ser positivo ou negativo. Em outras palavras, a CEC resulta da interação dos efeitos de CGC dos pais e pode melhorar ou piorar a expressão do híbrido em relação ao efeito esperado com base somente na CGC (HALLAUER et al., 2010).

Os efeitos da CEC, estimados como desvio do comportamento em relação ao que seria esperado com base na CGC, são medidas dos efeitos gênicos não aditivos. São desejáveis aquelas combinações híbridas com estimativas de CEC mais favorável, que envolvam pelo

menos um dos genitores que tenha apresentado o mais favorável efeito de CGC (BORDALLO et al., 2005).

Há vários estudos que fazem uso da análise dialélica na cultura da soja, seja para incremento na produção de grãos, ou para melhoria em atributos secundários e qualitativos. Silva (2014), objetivando avaliar a reação ao *Pratylenchus brachyurusa* de seis cultivares de soja e de oito populações F1 originadas por cruzamentos em esquema de dialelos parciais, identificou a presença de efeitos aditivos e não aditivos no controle da resistência, e classificou a cultivar Xingu como promissora em gerar progênies com reação de resistência ao fitonematóide.

Ao determinar a capacidade combinatória de três genótipos de soja, com o propósito de identificar genitores e combinações promissoras a um programa de melhoramento genético de soja no Estado de São Paulo, Zorzetto et al. (2009) observaram maior contribuição de efeitos aditivos na expressão dos atributos número de vagens e massa de grãos.

Ribeiro (2006), ao avaliar, em esquema dialélico parcial, linhagens de soja e seus híbridos quanto aos teores de proteína e óleo no grão, observou a prevalência de dominância dos alelos que contribuem para a diminuição destes atributos, e concluiu que os efeitos gênicos aditivos e não aditivos são importantes na determinação dos teores de proteína e óleo no grão em soja. Miranda et al. (2008), em estudo quanto a capacidade geral e específica de combinação de cinco genótipos de soja em programa de melhoramento visando produção de grãos, também afirmam que tanto os efeitos aditivos quanto não aditivos foram importantes para expressão dos atributos pelas combinações híbridas.

2.4 Análise de trilha

A produtividade de grãos é uma característica complexa, resultante da expressão e da associação de diferentes componentes, que são considerados pelo melhorista no processo de seleção de novos genótipos (ALCÂNTARA NETO et al., 2011). Diversos trabalhos têm se dedicado à identificação de correlações entre o rendimento de grãos e seus componentes primários como ferramenta para ganho genético e seleção de indivíduos (DUBEY et al., 2015; JAIN et al., 2015; LI et al., 2013; SILVA JÚNIOR et al., 2014). De acordo com Carpentieri-Pípolo et al. (2005), 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.

Entretanto, apesar da utilidade dessas estimativas no entendimento de um atributo, elas não determinam a importância relativa das influências diretas e indiretas deste sobre o rendimento de grãos. Bárbaro et al. (2006) ressaltam que a interpretação da magnitude de uma correlação simples pode, contudo, resultar em equívocos na estratégia de seleção quando uma correlação alta entre dois caracteres for consequência do efeito indireto de outros atributos. Cruz e Carneiro (2003) também alertam quanto a interpretação da magnitude do coeficiente de correlação entre dois atributos, onde a elevada correlação pode ser resultante do efeito de um terceiro ou de um grupo de atributos.

A análise de trilha, desenvolvida por Wright (1921), permite desdobrar os coeficientes de correlação nos efeitos diretos e indiretos sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas.

A análise de trilha baseia-se na avaliação do efeito de uma variável independente (x) sobre uma variável dependente (y), após a remoção da influência de todas as outras variáveis independentes (x_i) incluídas na análise (HARTWIG et al., 2007). Considerando-se uma variável básica Y e um conjunto de variáveis explicativas (X_1, X_2, X_3) que apresentam o seguinte diagrama de caminho, tem-se:

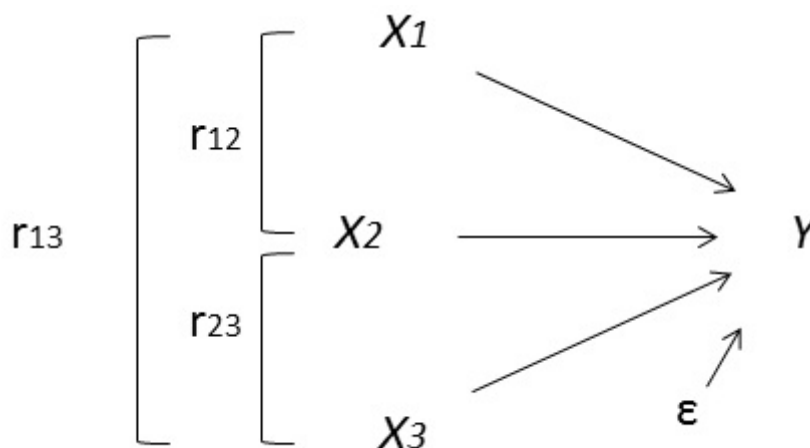


Figura 1. Diagrama causal ilustrativo dos efeitos das variáveis explicativas (X_1, X_2, X_3) e residual (ϵ) sobre a variável básica (dependente) Y . (Adaptado de SOUZA et al., 2013).

Dessa forma, as variáveis se relacionam através de um modelo de regressão múltipla, conforme descrita por Li (1975):

$$Y = b_{Y X_1} (X_1) + b_{Y X_2} (X_2) + b_{Y X_3} (X_3) + \epsilon$$

Entretanto, por se tratar de uma expansão da regressão múltipla, a confiabilidade dos coeficientes da trilha pode ser afetada pelos efeitos da inter-relação ou multicolinearidade existentes entre os caracteres que compõem o diagrama (KLINE, 1991).

Os problemas causados pela multicolinearidade não são devidos simplesmente à sua presença, mas sim ao grau em que se manifesta. Existindo multicolinearidade, em níveis considerados moderados a severos, entre um conjunto de caracteres explicativos, torna-se difícil avaliar a influência destes sobre a resposta no caráter principal, e ignorar seus efeitos pode provocar resultados absurdos. Dessa forma, diagnósticos de multicolinearidade devem ser feitos de forma a viabilizar certos estudos (CRUZ et al., 2012).

A diagnose, e o grau da multicolinearidade na matriz de correlação são estabelecidos com base no número de condição (NC), que é a relação entre o maior e o menor autovalor da matriz. Se $NC \leq 100$, a multicolinearidade é denominada fraca e não constitui problema para análise; se $100 < NC < 1000$, a multicolinearidade é denominada moderada à forte; e se $NC \geq 1000$, é considerada severa (MONTGOMERY e PECK, 1981).

Na presença de elevado grau de multicolinearidade, tem sido recomendado fazer a análise de trilha sob multicolinearidade, com acréscimo de um valor k aos elementos da diagonal da matriz de correlação, ou realizar a análise de trilha tradicional, com a eliminação de variáveis altamente correlacionadas (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Para a interpretação dos resultados obtidos nas decomposições dos coeficientes de correlação linear em efeitos diretos e indiretos, consideram-se as recomendações de Vencovsky e Barriga (1992): Quando o coeficiente de correlação e o efeito direto são de magnitude e sinal semelhantes, a correlação direta explica a verdadeira associação entre os caracteres. Já quando o coeficiente de correlação é positivo, e o efeito direto negativo ou desprezível, a correlação é causada pelos efeitos indiretos, sendo estes considerados na análise. Diferentemente, se o coeficiente de correlação é desprezível e o efeito direto é positivo e alto, os efeitos indiretos são responsáveis pela falta de correlação. Por fim, em casos de correlação negativa e efeito direto positivo e alto, eliminam-se os efeitos indiretos e consideram-se somente os diretos.

Em estudo sobre a associação entre atributos produtivos em genótipos de soja, Nogueira et al. (2012) observaram, mediante análise de trilha, efeito direto positivo do número de vagens sobre a produtividade de grãos. Os autores afirmam que, com base nos efeitos dos atributos é possível identificar caracteres que podem maximizar a resposta correlacionada em um programa de melhoramento genético.

Avaliando o desempenho produtivo de genótipos de soja em função do hábito de crescimento, Teodoro et al. (2015) desdobraram as correlações fenotípicas em efeitos diretos

e indiretos de várias características sobre a variável principal produtividade de grãos. Os autores não identificaram correlação significativa entre altura de plantas e produtividade de grãos em genótipos de crescimento determinado. Apesar de efeito direto positivo sobre a produtividade, o atributo apresentou efeito indireto negativo sobre os componentes de produção, caracterizando a ausência de correlação.

Petter et al. (2014), ao estudarem o comportamento agrônomico de genótipos de soja cultivados sob diferentes doses de potássio no cerrado piauiense, observaram correlação positiva e significativa entre a massa de cem grãos e a produtividade de grãos. Essa correlação foi confirmada através do efeito direto da massa de grãos sobre a produtividade, evidenciando que, sob tal condição, o aumento na massa dos grãos foi responsável pela maior expressão produtiva das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA NETO, F.; GRAVINA, G.A.; MONTEIRO, M.M.; MORAIS, F.B.; PETTER, F.A.; ALBUQUERQUE, J.A.A. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientiae**, v.2, n.2, p.107-112, 2011.

BAIGORRI, H.; GASSEN, D.A importância do ciclo, da juvenilidade e do hábito de crescimento no manejo da cultura. **Revista Plantio Direto**, v.43, n.4, p.15-18, 2009.

BALESTRE, M.; MACHADO, J.C.; LIMA, J.L.; SOUZA, J.C.; FILHO, L.N. Genetics distances estimates among single cross hybrids and correlation with specific combining ability and yield in corn double cross hybrids. **Genetics and Molecular Research**, v.7, n.1, p.65-73, 2008.

BÁRBARO, I.M.; CENTURION, M.A.P.D.C.; DI MAURO, A.O.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H.; ARRIEL, N.H.C.; COSTA, M.M. Path analysis and expected response in indirect selection for grain yield in soybean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.6, n.1, p.151-159, 2006.

BARROS, H.B.; SEDIYAMA, T.; DE CÁSSIA TEIXEIRA, R.; CRUZ, C.D. Análises paramétricas e não-paramétricas para determinação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja. **Scientia Agraria**, v.9, n.3, p.299-309, 2008.

BERNARDI, O. **Avaliação do risco de resistência de lepidópteros-praga (Lepidoptera: Noctuidae) à proteína Cry1Ac expressa em soja MON 87701 × MON 89788 no Brasil**. 2012. 143p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

BORDALLO, P.N.; PEREIRA, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; GABRIEL, A.P.C. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agronômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.123–127, 2005.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L.F.; PÍPOLO, A.E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, n.1, p.11-16, 2005.

CARVALHO, A.D.F.C.; FRITSCH NETO, R.; GERALDI, I. O. Estimation and prediction of parameters and breeding values in soybean using REML/BLUP and Least Squares. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 219-224, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Décimo segundo levantamento de grãos na safra 2015/16**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1safragraos2015_16.pdf Acesso em 15 out. de 2016.

COSTA, M.M.; MAURO, A.O.D.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H.; ARRIEL, N.H.C.; BÁRBARO, I.M.; MUNIZ, F.R.S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1095-1102, 2004.

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

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.

CRUZ, T.V.; PEIXOTO, C.P.; MARTINS, M.C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, v.11, n.1, p.33-42, 2010.

DOMINGUES, M.S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, v.15, n.2, p.1-22, 2012.

DUBEY, N.; SHRIVASTHAVA, A.N.; AVINASHE, H.A.; JAIWAR, S. Genetic variability, correlation and path analysis for yield and yield contributing characters in soybean (*Glycine max* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v.6, n.1, p.318-325, 2015.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. - Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255p.

FALCONER, D.S. **Introdução a genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 279 p.

FONSECA, A.F.A.D.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C.D.; SAKAIYAMA, N.S.; FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; BRAGANÇA, S.M. Genetic divergence in conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.599-605, 2006.

FREITAS, M.D.C. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, p.112-118, 2011.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v9, n.4, p.463-493, 1956.

HALLAUER, A. R.; CARENA, J. M.; MIRANDA FILHO, J. B. de. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010. 500 p.

HARTWIG, I.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A. C.; VIEIRA, E. A.; SILVA, J.; BERTAN, I.; BUSATO, C.C. Estimativa de coeficientes de correlação e trilha em gerações segregantes de trigo hexaplóide. **Bragantia**, v.66, n.2, p.203-218, 2007.

HIRAKURI, M.H.; LAZZAROTTO, J.J. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa-Soja, 2011. 68p. Documentos, 319.

HIROMOTO, D.M; VELLO, N.A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. **Revista Brasileira de Genética**, v.9, n.4, p.295-306, 1986.

INOUE, M.H.; PEREIRA, P.S.X.; MENDES, K.F.; BEN, R.; DALLACORT, R.; MAINARDI, J.T.; CONCIANI, P. A. Determinação do estágio de dessecação em soja de hábito de crescimento indeterminado no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.1, p.71-83, 2012.

JAIN, S.; SRIVASTAVA, S.C.; SINGH, S. K.; INDAPURKAR, Y.M.; SINGH, B.K. Studies on genetic variability, character association and path analysis for yield and its contributing traits in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Legume Research-An International Journal**, v.38, n.2, p.182-184, 2015.

KLINE, R.B. Latent variable path analysis in clinical research: A beginner's tour guide. **Journal of Clinical Psychology**, v.47, n.4, p.471-484, 1991.

KRAUSE, W.; RODRIGUES, R.; LEAL, N.R. Capacidade combinatória para características agronômicas em feijão-de-vagem. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.3, p.522-531, 2012.

LI, C.C. **Path analysis: a primer**. Pacific Grover: Boxwood, 1975. 346 p.

LI, Y.S.; DU, M.; ZHANG, Q.Y.; HASHEMI, M.; LIU, X.B.; HEBERT, S.J. Correlation and path coefficient analysis for yield components of vegetable soybean in north-east China. **Legume Research**, v.36, n.1, p.284-288, 2013.

MARTIN, J.H.; WALDREN, R.P.; STAMP, D.L. **Principles of Field Crop Production (4th Edition)**. Pearson Education, Upper Saddle River, NJ. 2006. 1030p.

MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley, 1981. 504 p.

MIRANDA, M.Z.; MOTTA, F.C.; MORAIS, L.K.; KIIHL, T.A.M.; SILVA, R.M. Análise dialéctica da capacidade combinatória em soja. **Revista de Biociências**, v.14, n.2, p.105-109, 2008.

MULATO, B.M.; MÖLLER, M.; ZUCCHI, M.I.; QUECINI, V.; PINHEIRO, J.B. Genetic diversity in soybean germplasm identified by SSR and EST-SSR markers. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.4, p.276-283, 2010.

NOGUEIRA, A.P.O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L.B.; HAMAWAK, O.T.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, D.G.; MATSUO, E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v.28, n.6, p.877-888, 2012.

PELÚZIO, J.M.; FIDELIS, R.R.; GIONGO, P.; SILVA, J.C.; CAPPELLARI, D.; BARROS, H.B. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura no sul do Estado do Tocantins. **Ceres**, v.55, n.1, p.34-40, 2008.

PETTER, F.A.; ALCÂNTARA NETO, F.; BARROS, W.S.; ALMEIDA, F.A.; PACHECO, L.P.; LIMA, L.B.; GRAVINA, G.A. Phenotypic correlations and path analysis of soybean production components in the Brazilian cerrado of Piauí state. **Revista de Ciências Agrárias**, v.57, n.3, p.273-279, 2014.

PROCÓPIO, S.O.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias**, v.56, n.4, p.319-325, 2013.

RIBEIRO, F.C.; COLOMBO, G.A.; SILVA, P.O.S.; SILVA, J.I.C.; ERASMO, E.A.L.; PELUZIO, J.M. Desempenho agrônômico de cultivares de soja na região central do Estado do Tocantins, safra 2014/2015. **Scientia Plena**, v.12, n.7, p.01-07, 2016.

RIBEIRO, K.O. **Heterose entre linhagens de soja quanto aos teores de proteína e de óleo no grão**. 2006. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2006.

SILVA, A.A.; MIZIARA, F. Avanço do setor sucroalcooleiro e expansão da fronteira agrícola em Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.3, p.399-407, 2011.

SILVA, A.C.F. **Reação de genótipos de soja à *Pratylenchus brachyurus***. 2014. 67p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2014.

SILVA JUNIOR, C.A.; TEODORO, P.E.; RIBEIRO, L.P.; SILVA, F.A.; CORREA, C.C.G.; LUZ JUNIOR, R.A.; TORRES, F.E. Correlations and genetic parameters between morphological descriptors in soybean. **Journal of Agronomy**, v.13, n.3, p.117-121, 2014.

SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. General vs specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.34, n.10, p.923-932, 1942.

SOUZA, V.Q.; NARDINO, M.; FOLLMANN, D.N.; BAHRY, C.A.; CARON, B.O.; ZIMMER, P.D. Caracteres morfofisiológicos e produtividade da soja em razão da desfolha no estágio vegetativo. **Científica**, v.42, n.2, p.216-223, 2014.

TEODORO P.E.; RIBEIRO L.P.; CORRÊA C.C.G.; JÚNIOR R.A.A.L.; 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.

TORRES, F.E.; DAVID, G. V.; TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORREA, C. G.; LUZ JÚNIOR, R.A. Desempenho agronômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p.111-117, 2015.

VENCOVSKY, R. Análise da variância de frequências alélicas. **Revista Brasileira de Genética**, v.5, n.1, p.53-60, 1992.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, n.1, p.557-585, 1921.

ZORZETTO, M.M.; MOTTA, F.C.; DE MORAIS, L.K.; KIIHL, T.A.M.; SILVA, R.M. Análise dialélica da capacidade combinatória em soja. **Revista Biociências**, v.14, n.2, p.45-52, 2009.

CAPÍTULO 1

CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE GENÓTIPOS DE SOJA SOB CONDIÇÕES DE BAIXA LATITUDE

RESUMO - A seleção de genitores para cruzamentos é uma das etapas mais importantes em programas de melhoramento, onde a predição do potencial genético das combinações híbridas permite ao melhorista canalizar recursos humanos e financeiros em populações superiores. Neste sentido, objetivou-se com o presente trabalho, estimar a capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) de sete genótipos de soja em duas gerações (F1 e F2), segundo a metodologia de Griffing (1956), sem os recíprocos, a fim de indicar genitores e combinações híbridas promissoras. Os híbridos F1, populações F2 e os genitores foram avaliados em Gurupi-TO, sendo a geração F1, com os respectivos genitores, avaliada em casa de vegetação e a geração F2 em campo. Os atributos mensurados foram número de dias para florescimento e maturação, número de sementes 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. 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 número de dias para maturação em soja. A hibridação M-8360 x 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 os mesmos para obtenção de populações segregantes superiores.

Palavras-chave: *Glycine max*; melhoramento genético; Tocantins; dialelo completo

DIALLEL ANALYSIS OF THE COMBINING ABILITY OF SOYBEAN UNDER CONDITIONS OF LOW LATITUDE

ABSTRACT - The parent selection for crossings is one of the most important steps in breeding programs where 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), according to Griffing (1956) without the reciprocals, in order to indicate parents and hybrid combinations that are promising to achieve new favorable combinations. The F1 hybrids, F2 populations and the parents were evaluated in Gurupi-TO, being the generation F1 evaluated in greenhouse and the F2 generation in the field. The measured parameters were number of days to flowering and of number days to maturity, number of seeds per pod, number of pods per plant, weight of hundred seeds and grain yield per plant. For all attributes was detected significant effect for SCA. The results of the diallel analysis were concordant in the F1 and F2 generations. The M-8360 and A-7002 parents gather alleles favorable to reducing the number of days to flowering and number of days to maturity in soybean. Hybridization M-8360 x BRS Valiosa is promising to obtain early cycle soybean strains. The M-8360 parent is promising for population improvement programs. Hybridization M-8867 x M-8360 is promising for formation of superior segregants.

Keywords: *Glycine max*; breeding; Tocantins; complete diallel.

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, onde a cultura constitui-se como a mais importante oleaginosa cultivada. Anualmente, o complexo soja agrega à balança comercial brasileira mais de 15 bilhões de dólares, além de outros 60 bilhões de dólares gerados em benefícios indiretos na sua extensa cadeia produtiva composta por aproximadamente 5,2 milhões de empregos (MIRANDA, 2014).

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 (TORRES et al., 2015). O ecossistema dos Cerrados apresenta mais de 50 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 (SILVA e MIZIARA, 2011). Contudo, torna-se necessária, para condicionar incrementos cada vez mais compensatórios, a obtenção de genótipos adaptados às condições edafoclimáticas de cada região (TORRES et al., 2014).

A seleção de genitores é uma das etapas primordiais em um programa de melhoramento de plantas, pois são nesses que devem se concentrar os alelos favoráveis para as características de interesse, permitindo a obtenção de indivíduos superiores (OLIBONI et al., 2012). Frequentemente, novos programas de melhoramento genético de soja são iniciados, onde o seu êxito está vinculado à eficiência na escolha dos genitores, que ao serem cruzados, produzam híbridos e, posteriormente, populações segregantes promissoras, favorecendo o trabalho do melhorista na obtenção de progresso genético (PFANN et al., 2009).

Contudo, um dos primeiros obstáculos enfrentados pelos melhoristas está no oneroso trabalho que envolve a avaliação da população-base, onde 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 disto, tem-se cada vez mais lançado mão de ferramentas que facilitem a coleta de informações que envolvam o *pool* gênico utilizado.

Uma das metodologias mais eficientes e comumente utilizadas em programas de melhoramento genético é a análise dialélica, a qual 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 é estimada a capacidade

geral de combinação (CGC) do genitor, indicativa de quanto este difere da média geral da população dialélica, onde os maiores valores referentes à CGC, positivos ou negativos, indicam maior divergência, superior ou inferior, em relação aos demais genitores. Já a capacidade específica de combinação (CEC) indica 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 locos com alguma dominância (BORDALLO et al., 2005).

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 realizados para a obtenção de linhagens superiores quanto à produção de grãos (DARONCH et al., 2014), teor de óleo e proteína (RIBEIRO, 2006), e quanto à resistência a insetos sugadores (GODOI et al., 2002). 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.

Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo estudar a capacidade geral e específica de combinação de genótipos de soja quanto a atributos agrônômicos, bem como determinar os efeitos genéticos que controlam sua expressão, visando identificar progenitores e combinações híbridas promissoras para ao melhoramento de soja no Estado do Tocantins.

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 através de estudos de diversidade genética (PELUZIO et al., 2009), foram cruzados, sob condições de casa de vegetação, na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa-MG, resultando na formação de vinte e uma combinações híbridas.

Em janeiro de 2012, as sementes F1 das vinte e uma 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.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, constituído por vinte e oito tratamentos (vinte e uma 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 blocos casualizados, constituído por vinte e oito tratamentos (vinte e uma populações e sete genitores), em três repetições. A parcela experimental foi constituída 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 10 plantas por metro linear.

Todos os tratamentos, tanto em casa de vegetação e campo, receberam adubação de plantio com P_2O_5 (120 kg ha⁻¹), e K_2O (120 kg ha⁻¹). Antes da semeadura, foi realizada a inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum*. Os demais manejos fitossanitários foram realizados conforme recomendação científica para a cultura (SEDIYAMA et al., 2009).

As plantas foram avaliadas de forma individual, para coleta dos seguintes atributos agronômicos: Número de dias para o florescimento (NDF) – número de dias contados, a partir da emergência, necessários para que se tenha 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 sementes por vagem (NSV); Número de vagens por planta (NVP); Massa de cem grãos (M100G) – em g pl⁻¹, determinada com a pesagem de uma amostra de 100 sementes 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, onde 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, foram estimados 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 as 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, foi realizado 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 as maiores estimativas da CGC (g_i) e respectivas médias (μ), conforme proposto por Daronch et al. (2014). Atribuiu-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, os genitores foram ranqueados de acordo com as maiores médias, considerando as notas recebidas.

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

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). Estas diferenças podem ser conferidas a dissimilaridade genética entre os genitores envolvidos no cruzamento, uma vez que estes foram previamente escolhidos com base em procedimentos multivariados e, também, da presença de variabilidade genética de diferentes magnitudes nas populações híbridas. Os coeficientes de variação para os atributos variaram de 0,72 a 8,14 %, indicando eficiente controle das causas de variação do ambiente (PIMENTEL-GOMES, 1990) e estando de acordo com o apresentado na literatura para a cultura da soja (CARVALHO et al., 2003; 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-TO

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		NDF	NDM	NGV	NVP	M100G	PG
<i>Geração F1</i>							
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**
<i>Geração F2</i>							
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 atributos, 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.

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 Shirahige et al. (2013), 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 frente aos aditivos na variação entre os cruzamentos.

É importante ressaltar que em soja, onde o produto final do melhoramento são linhagens homozigóticas, as quais carregam efeitos aditivos e epistáticos do tipo aditivo x 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, tornar-se complexo encontrar o indivíduo homozigoto sobre o qual recairão todos os genes favoráveis à expressão do fenótipo (MARTINS FILHO et al., 1992; VENCOVSKY e 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 e Regazzi (2004), 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. Neste sentido, 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 visando os diferentes atributos estudados.

Miranda et al. (1998) 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. Estas observações, somadas ao fato dos genitores possuírem as menores médias de NDF e NDM, permitem afirmar que tais genitores reúnem alelos favoráveis para a diminuição da média destes dois atributos, e assim indicados para hibridações visando à obtenção de linhagens de soja com ciclo precoce.

Ao contemplarem o ciclo vegetativo da soja, Ribeiro et al. (2016) alertam que, em áreas de cerrado de baixa latitude, cultivares modernas de ciclo precoce têm apresentado desempenho agrônômico superior, devido a menor exposição a fatores estressantes de caráter biótico e abiótico. Além disso, segundo Godoy et al. (2009), 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.) à cultura.

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-TO

Genitor	NDF				NDM				NVP			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ	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

Em relação aos atributos primários que compõem a produtividade de grãos em soja (NSV, 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 NSV e M100G, onde plantas com elevadas médias destes atributos apresentam produtividade de grãos superior (SOUZA et al., 2015; TEODORO et al., 2015). Em pensamento contrário, Board et al. (1997) e Peluzio 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), bem como médias elevadas para estes 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.

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-TO

Genitor	NGV				M100G				PG			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ	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

Na Tabela 4 está apresentada 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.

O genitor M-8867 recebeu a melhor classificação entre os sete genitores, 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.

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-TO

Genitor	NVP		NGV				M100G				PG				Média			<i>Ranking</i> ¹		
	F1		F2		F1		F2		F1		F2		F1		F2		g_i		μ	Geral
	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ	g_i	μ	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.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas as estimativas da capacidade específica de combinação (CEC) das hibridações, com as respectivas médias para os atributos agronômicos 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, onde 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.

Para o desenvolvimento de híbridos, Cruz e Regazzi (2004) 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 x BRS Valiosa apresentou a maior estimativa negativa de S_{ij} na geração F1 (-7,42) e na geração F2 (-3,81). Ao considerarmos que esta 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 destes atributos em seus descendentes, ou seja, visando à obtenção de linhagens de ciclo precoce.

Para o atributo NVP, efeitos elevados e positivos da CEC foram observados na hibridação M-8867 x M-8360, a qual apresentou as maiores estimativas nas duas gerações ($S_{ij} = 35,8$ em F1, e $S_{ij} = 14,91$ em F2). A hibridação BRS Valiosa x 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 progênes promissoras, de onde poderão ser extraídas linhagens superiores.

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-TO

	NDF				NDM				NVP			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	s_{ij}	μ	s_{ij}	μ	s_{ij}	μ	s_{ij}	μ	s_{ij}	μ	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.

Para o atributo NGV (Tabela 6), efeitos elevados e positivos da CEC foram observados na hibridação P98Y51 x M-8360, a qual 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 desta 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 este atributo.

Quanto a M100G, a combinação híbrida M-8867 x 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).

Quanto ao atributo PG (Tabela 6), efeitos elevados e positivos da CEC foram observados na combinação híbrida M-8867 x M-9350, a qual apresentou a 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 x M 9350, M-8867 x M 8360 e P98Y51 x M9350.

Para o conjunto de atributos agronômicos, nas gerações F1 e F2, a hibridação M-8867 x M-8360 apresenta-se como a mais favorável, uma vez possui as mais altas estimativas de CEC (Tabelas 6 e 7), as maiores médias (Tabelas 5 e 6), e ser composta pelos dois genitores melhores 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. (2014a; 2014b), em estudos quanto a 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 das combinações híbridas de destaque terem apresentado desempenho superior tanto na geração F1 (com relação a performance dos híbridos), quanto na geração F2 (com relação a 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.

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-TO

	NGV				M100G				PG			
	F1		F2		F1		F2		F1		F2	
	s_{ij}	μ	s_{ij}	μ	s_{ij}	μ	s_{ij}	μ	s_{ij}	μ	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
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.

CONCLUSÕES

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 número de dias para maturação em soja.

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

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

A hibridação M-8867 x M-8360 é promissora para formação de segregantes superiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

BORDALLO, P.N.; PEREIRA, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; GABRIEL, A.P.C. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agronômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.1, p.123-127, 2005.

CARVALHO, C.G.P.; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A.S.; OLIVEIRA, M.F.; HIROMOTO, D.M.; TAKEDA, C. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p.187-193. 2003.

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.53-62, 2016.

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

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2004, v.1. 480p.

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

CRUZ, C.D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira Genética**, n.12, p.425-438, 1989.

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.

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

GODOI, C.R.C.; PEREIRA, F.S.; UMENO, F.; ÁZARA, N.A.; LIMA, L.P.M.S.; SILVA, R.P.; PINHEIRO, J.B. Resistência a insetos em populações de soja com diferentes proporções gênicas de genitores resistentes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.32, n.1, p.47-55, 2002.

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.

MARTINS FILHO, S.; SEDIYAMA, C.S.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA, T.; GOMES, J.L.L. Análise dialélica da resistência da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à *Cercospora* sojina. **Ceres**, v.39, v.221, p.51-59, 1992.

MIRANDA, R. O Agronegócio da Soja no Brasil: do Estado ao Capital Privado. **Novos Rumos Sociológicos**, v.1, n.2, 2014.

MIRANDA, J.E.C.; COSTA, C.P.; CRUZ, C.D. Análise dialélica em pimentão. I Capacidade combinatória. **Revista Brasileira de Genética**, v.11, n.2, p.431-440, 1998.

NOGUEIRA A.P.O.; SEDIYAMA T.; SOUSA L.B.; HAMAWAKI O.T.; CRUZ C.D.; PEREIRA D.G.; MATSUO E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v.28, n.6, p.877-888, 2012.

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.

PFANN, A.Z.; FARIA, M.V.; ANDRADE, A.A.; NASCIMENTO, I.R.; FARIA, C.M.D.R.; BRINGHENTTI, R.M. Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p.635-641, 2009.

PELUZIO, 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. **Revista Ceres**, v.52, n.3, p.779-786, 2005.

PELUZIO, J.M.; MELO, A.V.; AFFERRI, F.S.; SILVA, R.R.; BARROS, H.B.; FIDELIS, R.R. Variabilidade genética entre cultivares de soja, sob diferentes variações edafo-climáticas, na região centro-sul do estado do Tocantins. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.2, n.4, p.55-63, 2009.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba – SP: Nobel. 1990. 468p.

REINA, E.; PELUZIO, J.M.; AFFERRI, F.S.; OLIVEIRA JUNIOR, W.P.; SIEBENEICHLER, S.C. Genetic divergence and phosphorus use efficiency in the soybean with a view to biodiesel production. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.2, p.344-350, 2014a.

REINA, E.; PELUZIO, J.M.; AFFERRI, F.S.; SIEBENEICHLER, S.C. Análise multivariada e eficiência do uso do fósforo em soja, visando o teor de carboidratos, no estado do Tocantins. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p.1371-1379, 2014b.

RIBEIRO, F.C.; COLOMBO, G.A.; SILVA, P.O.S.; ROCHA, S.F.; ERASMO, E.A.L.; PELUZIO, J.M. Desempenho agronômico de cultivares de soja na região central do Estado do Tocantins, safra 2014/2015. **Scientia Plena**, v.12, n.7, p.23-30, 2016.

RIBEIRO, K.O. **Heterose entre linhagens de soja quanto aos teores de proteína e de óleo no grão**. 2006. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2006.

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

SILVA, A.A.; MIZIARA, F. Avanço do setor sucroalcooleiro e expansão da fronteira agrícola em Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.3, p.399-407, 2011.

SHIRAHIGE, F.H.; FUMES, L.A.A.; DE CASTRO, L.P.; FARIAS, G.J.; COLOMBARI FILHO, J.M.; GERALDI, I.O. **Avaliação de cruzamentos dialélicos para produção de grãos e caracteres agronômicos, e perspectivas de melhoramento em soja**. In: 7º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 2013, Uberlândia - MG. Variedade Melhorada: A Força da Nossa Agricultura, 2013.

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 Sciences and Technology**, v.8, n.1, p.167-176, 2015.

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

TEODORO P.E.; RIBEIRO L.P.; CORRÊA C.C.G.; JÚNIOR R.A.A.L.; 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.

TORRES, F.E.; SILVA, E.C.; TEODORO, P.E. Desempenho de genótipos de soja nas condições edafoclimáticas do ecótono Cerrado-Pantanal. **Interações**, v.15, n.1, p.71-78, 2014.

TORRES, F.E.; DAVID, G.V.; TEODORO, P.E.; RIBEIRO, L.P.; CORREA, C.G.; LUZ JÚNIOR, R.A. Desempenho agronômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p.111-117, 2015.

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

CAPÍTULO 2

CORRELAÇÕES E ANÁLISE DE TRILHA EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA EM DIFERENTES GERAÇÕES

RESUMO - 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. O conhecimento do sentido e do grau de associação entre dois ou mais atributos, ainda em gerações iniciais de endogamia, pode contribuir para direcionar o programa de melhoramento, principalmente em relação ao processo de seleção dos genótipos mais promissores. Neste sentido, objetivou-se com o presente trabalho determinar a correlação fenotípica entre atributos agronômicos, bem como seus efeitos diretos e indiretos sobre a produção de grãos, de vinte e uma populações segregantes de soja nas gerações F2, F3 e F4. Em cada geração, as populações foram conduzidas em campo, sob delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições, no município de Gurupi-TO, entre o período de 2014 a 2016. Foram avaliados os atributos 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. Em todas as gerações, houve correlação positiva e significativa entre a produtividade de grãos por planta e o número de vagens por planta. As correlações e análise de trilha foram úteis na identificação de genótipos com características superiores nas gerações iniciais dos programas de melhoramento. O número de vagens por planta e o número de dias para a maturação podem ser utilizados, via seleção indireta, para aumento na produtividade de grãos em soja, nas gerações iniciais de endogamia.

Palavras-chave: *Glycine max*; melhoramento genético; seleção precoce; associação de caracteres; Tocantins

CORRELATIONS AND PATH ANALYSIS IN SEGGANT SOYBEAN POPULATIONS IN DIFFERENT GENERATIONS

ABSTRACT – The grain yield is a complex attribute, resulting from the expression and association of different components, which are considered by the breeder in the selection process of new genotypes. Knowledge of the meaning and degree of association between two or more attributes, even in initial generations of inbreeding, may contribute to direct the breeding program, especially in relation to the selection process of the most promising genotypes. In this sense, the objective of this work was to determine the phenotypic correlation between agronomic attributes, as well as their direct and indirect effects on grain yield, of twenty one soybean segregant populations in the F₂, F₃ and F₄ generations. In each generation, the populations were conducted in the field, under a randomized block design with three replicates, in Gurupi-TO, between the period from 2014 to 2016. The attributes number of days for flowering and maturation, number of seeds per pods, number of pods per plant, mass of one hundred grains and grain yield per plant were evaluated. In all generations, there was a positive and significant correlation between grain yield per plant and number of pods per plant. Correlations and path analysis may be useful in identifying genotypes with superior characteristics in the initial generations of breeding programs. The number of pods per plant and the number of days for maturation can be used, through indirect selection, to increase grain yield in soybean in the initial generations of inbreeding.

Keywords: *Glycine max*; breeding; early selection; combination of characters; Tocantins

INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L.) é a maior responsável em manter os altos índices econômicos da agricultura brasileira, onde o país destaca-se na produção e exportação anual do grão. Segundo USDA (2016), a produção mundial de soja no ano safra 2015/16 foi de 319,01 milhões de toneladas, e o Brasil, segundo maior produtor mundial, foi responsável por 29,9% desta produção, cerca de 95,4 milhões de toneladas.

Apesar da significativa contribuição de materiais genéticos de alto potencial produtivo para o aumento nos rendimentos na cultura da soja no cerrado de baixa latitude, torna-se necessário o constante desenvolvimento de genótipos superiores, adaptados às condições edafoclimáticas de cada região, a fim de promover incrementos cada vez mais compensatórios (XAVIER et al., 2008).

O potencial produtivo da soja é resultante da associação entre seus componentes de produção. Conforme Dalchiavon e Carvalho (2012), o número de vagens por planta e grãos por vagens são dois importantes componentes da produtividade de grãos em soja, que se correlacionam positiva ou negativamente com os demais componentes, e respondem à modificação nas condições ambientais impostas à planta. Neste sentido, o conhecimento dos graus de associação entre os atributos agrônômicos possibilita traçar melhor estratégia de seleção, principalmente para atributos de baixa herdabilidade (RIGON et al., 2012).

Entretanto, alguns cuidados devem ser considerados na interpretação das correlações entre os componentes de produção. Por não diferenciar a causa e o efeito na expressão do coeficiente, a alta correlação entre dois atributos pode ser resultado do efeito indireto de um terceiro atributo, ou de um grupo de atributos (BARBARO et al., 2006). Nesse caso, o emprego de metodologias específicas, como, por exemplo, a análise de trilha, auxilia no entendimento das reais relações entre as variáveis (WRIGHT, 1921).

A magnitude dessas correlações varia com a diversidade genética do germoplasma avaliado (PERINI et al., 2012; RIGON et al., 2012; ALCÂNTARA NETO et al., 2011), com o tempo (NOGUEIRA et al., 2012; CARVALHO et al., 2002) e com as condições ambientais (PETER et al., 2014; DALCHIAVON e CARVALHO, 2012). Por isso, são encontrados resultados distintos na literatura para a análise de correlação linear simples e para a análise de trilha em soja.

Segundo Lopes et al. (2002), existem poucas informações sobre o comportamento da soja logo nas gerações iniciais, em virtude da limitada quantidade de sementes colhidas nas plantas F1, que muitas vezes inviabiliza o estudo nas gerações iniciais, além do trabalho despendido com as avaliações. Entretanto, a seleção precoce, realizada em caracteres

altamente correlacionados com a produção de grãos e, que possuam coeficiente de herdabilidade mais elevados, pode resultar em ganhos de seleção altamente significativos, e consequentemente o êxito no melhoramento genético desta característica (SOUZA JÚNIOR, 2011).

Em contrapartida, a seleção realizada em gerações precoces, com elevada frequência de heterozigotos, está sujeita a fatores relacionados à ação gênica e ao efeito de ambiente, que podem ser restritivos ao progresso genético (BENIN et al., 2005). Frente a isto, o estabelecimento e validação de critérios de seleção, ainda em gerações precoces, são altamente desejáveis para otimização do tempo ao longo do programa de melhoramento.

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho determinar a correlação entre atributos agrônômicos, bem como seus efeitos diretos e indiretos sobre a produção de grãos, em populações segregantes de soja nas gerações iniciais de endogamia, visando contribuir para o direcionamento do programa de melhoramento.

MATERIAL E MÉTODOS

No período de setembro de 2014 a fevereiro de 2016, foram conduzidos três experimentos na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins-UFT, localizada no município de Gurupi – TO (300 m de altitude, 11°43' S e 49°04' W), em solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura média (EMBRAPA, 2013). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo B1wA'a' úmido com moderada deficiência hídrica.

Cada experimento foi constituído por uma geração segregante de soja (F2, F3 ou F4), composta por vinte e uma populações oriundas de cruzamento dialélico entre sete genitores previamente selecionados através de estudos de diversidade genética (PELUZIO et al., 2009). Ressalta-se que as plantas de uma geração foram representadas por amostras de sementes de cada uma das plantas da geração anterior, sem qualquer critério de seleção, de modo que todas as plantas de uma geração estariam representadas na geração seguinte.

O delineamento experimental utilizado, em cada experimento, foi blocos casualizados, com três repetições. A parcela experimental foi constituída por duas linhas com três metros de comprimento cada, espaçadas por 0,45m.

Todos os tratamentos receberam adubação de plantio com P₂O₅ (120 kg ha⁻¹) e K₂O (120 kg ha⁻¹), conforme exigências da cultura e após prévia análise de solo. Foi realizada a inoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum*, imediatamente antes da semeadura,

sendo os demais manejos fitossanitários realizados conforme recomendação para a cultura (SEDIYAMA et al., 2009).

Com base na área útil da parcela, foram obtidos os seguintes atributos agrônômicos: a) Número de dias para o florescimento (NDF) – número de dias contados, a partir da emergência, necessários para que se tenha uma flor aberta em 50% das plantas da parcela; b) 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; c) Número de vagens por planta (NVP) - número de vagens, obtida na época de maturação, em 20 plantas competitivas da área útil ao acaso; d) Número de grãos por vagem (NGV) – número de grãos, obtida na época de maturação, em 20 plantas competitivas da área útil ao acaso; e) Massa de cem grãos (M100G) – peso, em gramas por planta, obtido de uma amostra de 100 sementes por parcela, ao acaso, das plantas competitivas da área útil, após a correção da umidade para 13%; e f) produtividade de grãos (PG) – determinada em gramas/planta, obtida por meio da massa de grãos em 20 plantas competitivas da área útil ao acaso, após correção da umidade para 13%.

Os dados de cada atributo foram submetidos à análise de variância individual em cada geração, considerando os efeitos de genótipos como fixos, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij},$$

em que Y_{ij} é a observação referente ao tratamento i da repetição j ; m , a média geral; t_i , o efeito do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 21$); b_j , o efeito do bloco j ($j = 1, 2, 3$); e e_{ij} , o erro aleatório associado à observação Y_{ij} , assumindo $e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Também foi obtido o coeficiente de herdabilidade para a média das populações, conforme a equação:

$$h^2 = (\text{Quadrado Médio}_{\text{genótipos}} - \text{Quadrado Médio}_{\text{erro}}) / \text{Quadrado Médio}_{\text{genótipos}}$$

Foi realizada correlação genotípica em cada uma das gerações, para todas as variáveis, seguindo-se o modelo estatístico descrito por Steel et al. (1997). Posteriormente foi realizado desdobramento das correlações em efeitos diretos e indiretos dos atributos de importância agrônômica para a soja (componentes primários e secundários do modelo de regressão) sobre a produção de grãos (componente básico) por meio da análise de trilha (WRIGHT, 1921).

Como pré-requisito para análise de trilha foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade envolvendo os seis atributos agrônômicos, de acordo com Cruz et al. (2007), onde o número de condições foi classificado segundo critérios sugeridos por Montgomery e Peck (1981).

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre as populações segregantes para todos os atributos, nas três gerações, evidenciando a existência de variabilidade entre os diferentes materiais genéticos avaliados (Tabela 1). Com relação às médias, observou-se ligeiro acréscimo em todos os atributos com o avanço das gerações, principalmente em número de vagens por planta (NVP), passando de 52,2 na geração F2, para 59,3 na geração F4.

Tabela 1. Resumo da análise de variância individual entre vinte e uma populações segregantes de soja, nas gerações F2, F3 e F4, para seis atributos agronômicos, Gurupi-TO

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		NDF	NDM	NVP	NGV	M100G	PG
<i>Geração F2</i>							
Populações	20	13,61**	48,20**	452,87**	0,03**	3,00**	27,48**
Resíduo	40	0,54	1,17	32,17	0,01	0,49	3,42
Média		41	109	52,2	1,96	12,58	13,07
CV (%)		2,79	1,99	8,93	5,73	5,60	9,14
h ² (%)		96,0	97,2	92,8	70,01	83,5	87,5
<i>Geração F3</i>							
Populações	20	22,23**	45,61**	728,04**	0,06**	5,97**	57,29**
Resíduo	40	0,73	0,89	28,05	0,01	0,48	3,70
Média		42	109	58,5	2,01	14,03	16,61
CV (%)		2,03	1,86	9,03	6,32	4,97	11,58
h ² (%)		96,7	98,03	96,1	73,6	91,3	93,5
<i>Geração F4</i>							
Populações	20	20,41**	28,22**	601,93**	0,07**	7,80**	45,77**
Resíduo	40	1,25	0,71	21,33	0,01	0,20	1,10
Média		41	108	59,3	1,95	13,74	15,47
CV (%)		2,70	1,77	7,92	5,66	4,31	7,78
h ² (%)		93,8	97,3	95,4	89,4	95,7	96,6

NDF – Número de dias para florescimento; NDM – Número de dias para maturação; NVP – Número de vagens por planta; NGV – Número de grãos por vagem; M100G – Massa de cem grãos, em gramas; PG – Produtividade de grãos (gramas/planta), em gramas. CV – Coeficiente de variação. h² – Herdabilidade média das populações.

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Os coeficientes de variação para os atributos variaram de 1,77 a 11,58%, indicando eficiente controle das causas de variação do ambiente (PIMENTEL-GOMES, 1990) e estando de acordo com o apresentado na literatura para a cultura da soja (CARVALHO et al., 2003; STORCK et al., 2010).

Quanto à herdabilidade (h^2), foram observadas altas estimativas para todos os atributos agronômicos que, de modo geral, aumentou com o avanço da endogamia. Para a produtividade de grãos (PG), a herdabilidade aumentou de 87,5% na geração F2 para 96,6% na geração F4. A mesma tendência foi relatada por Carvalho et al. (2009), ao verificarem maior herdabilidade para produção de grãos em progênies de soja na geração F6 (69,5%), em comparação com a geração F4 (52,8%).

A herdabilidade fornece a proporção da variância genética presente na variância fenotípica total. Dessa forma, mede a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo. Segundo Ramalho et al. (1993), a importância da estimativa da herdabilidade reside em sua relação com a seleção, uma vez que quanto maior for à herdabilidade, maior a probabilidade de sucesso na seleção para dado atributo. Valores altos para coeficiente de herdabilidade estão associados a uma maior variabilidade genética, maior acurácia seletiva e possibilidade de selecionar com sucesso linhagens de soja com bons atributos agronômicos (STORCK e RIBEIRO, 2011).

Na Tabela 2 estão apresentadas as estimativas da correlação entre os atributos. Foi observada correlação positiva e significativa entre o número de dias para o florescimento (NDF) e o número de dias para a maturação (NDM) para todas as gerações ($r = 0,88^{**}$ em F2; $r = 0,85^{**}$ em F3; e $r = 0,69^{**}$ em F4), evidenciando que plantas com maior período de desenvolvimento vegetativo apresentam ciclo mais longo até atingir a maturidade.

Esses resultados são concordantes com afirmações de Nogueira et al. (2012) que, ao estudarem a associação entre atributos agronômicos em noventa genótipos experimentais de soja, observaram elevada correlação positiva e significativa entre NDF e NDM. Peluzio et al. (2005) também relatam elevada correlação (fenotípica e genotípica) positiva e significativa entre NDF e NDM em genótipos de soja cultivados em região de cerrado.

Tabela 2. Estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre atributos agronômicos de vinte e uma populações segregantes de soja, em três gerações (F2, F3 e F4), Gurupi-TO

Atributo	Geração	NDM	NVP	NGV	M100G	PG
NDF	F2	0,88**	0,04	-0,03	-0,02	0,01
	F3	0,85**	0,04	-0,09	0,25	0,15
	F4	0,69**	0,19	-0,20	0,03	0,18
NDM	F2		0,28	-0,04	0,00	0,22
	F3		0,21	-0,18	-0,02	0,24
	F4		0,57**	-0,09	-0,02	0,59**
NVP	F2			-0,08	0,11	0,89**
	F3			0,16	-0,41	0,87**
	F4			-0,05	-0,47*	0,79**
NGV	F2				0,33	0,24
	F3				0,20	0,45
	F4				0,40	0,39
M100G	F2					0,41
	F3					0,03
	F4					0,11

NDF – Número de dias para florescimento; NDM – Número de dias para maturação; NVP – Número de vagens por planta; NGV – Número de grãos por vagem; M100G – Massa de cem grãos, em gramas; PG – Produtividade de grãos (gramas/planta).

A PG apresentou correlação positiva e significativa com o número de vagens por planta (NVP) nas três gerações ($r = 0,89^{**}$ em F2; $r = 0,87^{**}$ em F3; e $r = 0,79^{**}$ em F4), indicando que com o aumento do NVP resultará em incremento na produtividade de grãos.

Esses resultados corroboram com aqueles observados por Silva et al. (2015), que, ao estimarem a correlação fenotípica entre caracteres relacionados à produção de grãos em progênies F3 de soja, também observaram correlação positiva e significativa entre NVP e PG ($r = 0,882^{**}$). Segundo esses autores, o número de vagens pode influenciar no número e na massa dos grãos produzidos pela planta, com efeito direto sobre a produtividade final em soja.

O NVP apresentou correlação negativa significativa com a massa de 100 grãos (M100G) na geração F4 ($r = -0,47^{*}$), indicando que plantas com maior número de vagens produziram grãos de menor massa. Perini et al. (2012), ao avaliarem a associação entre componentes de produção em cultivares de soja com diferentes hábitos de crescimento, visando à seleção indireta para produtividade de grãos, observaram correlação negativa e

significativa entre o número de vagens total por planta e massa de cem grãos, em cultivares de crescimento indeterminado.

Foi verificada correlação de baixa magnitude entre o número de grãos por vagem (NGV) e PG e entre M100G e PG, independente da geração, evidenciando pouca participação destes atributos sobre a produção final das plantas.

Segundo Akram et al. (2011), Almeida et al. (2010), Bizeti et al. (2004), Carpentieri-Pípolo et al. (2005) e Haghi et al. (2012), a soja frequentemente promove compensação entre os atributos M100G e PG, aumentando ou diminuindo o tamanho e densidade dos grãos em função do número de vagens e grãos em desenvolvimento.

Nogueira et al. (2015), Hoogerheide et al. (2007) e Coimbra et al. (2005) ressaltam que quando um atributo correlaciona-se positivamente com alguns e negativamente com outros, é necessária cautela durante o processo de seleção, pois, ao privilegiar-se um determinado atributo, pode-se provocar mudanças indesejáveis em outros.

As correlações positivas mostram, possivelmente, a ocorrência de pleiotropismo ou desequilíbrio de ligação gênica entre os pares de atributos e favorecem a seleção simultânea de dois ou mais atributos, pela seleção em apenas um destes (FALCONER, 1987). Por outro lado, a seleção em função de um atributo pode acarretar uma seleção indesejável de outro.

Neste sentido, o estudo da análise de trilha vem complementar e propiciar um exame crítico de fatores específicos que resultam nas correlações observadas e que possam ser utilizadas com sucesso na formulação de uma estratégia de seleção de plantas de soja.

Anteriormente à análise de trilha, foi avaliado o grau de multicolinearidade entre os atributos agronômicos, conforme critérios estabelecidos por Montgomery e Peck (1981). O número de condições (NC) foi inferior a 100 nas três gerações (NC = 64,3 em F2; NC = 80,5 em F3; NC = 91,8 em F4), evidenciando fraca multicolinearidade entre os atributos, não representando impedimento a análise.

Na Tabela 3 estão apresentados os efeitos diretos e indiretos dos componentes primários sobre a produtividade de grãos (PG). Os coeficientes de determinação (R^2) no modelo da análise de trilha foram superiores a 0,90 e os efeitos residuais inferiores a 0,03 nas três gerações.

Conforme Alcântara Neto et al. (2011), o alto valor dos coeficientes de determinação da trilha e o baixo efeito da variável residual evidencia forte relação de causa e efeito entre os atributos estudados e suas correlações com a produção de grãos, representando assim um ponto positivo na análise de trilha

Tabela 3. Efeitos diretos e indiretos dos atributos primários - número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (M100G) - sobre a produtividade de grãos (PG), estimados por meio de análise de trilha, a partir da matriz de correlação de Pearson, com vinte e uma populações segregantes de soja, em três gerações (F2, F3 e F4), Gurupi-TO

Atributo	Vias de associação	Coeficiente de trilha		
		Geração F2	Geração F3	Geração F4
NVP	Efeito direto sobre PG	0,884	0,984	0,972
	Efeito indireto via M100G	0,025	-0,152	-0,240
	Efeito indireto via NGV	-0,016	0,036	-0,131
	Total	0,893	0,869	0,601
NGV	Efeito direto sobre PG	0,218	0,223	0,240
	Efeito indireto via M100G	0,081	0,074	0,205
	Efeito indireto via NVP	-0,065	0,161	-0,056
	Total	0,234	0,458	0,389
M100G	Efeito direto sobre PG	0,245	0,378	0,395
	Efeito indireto via NGV	0,072	0,043	0,197
	Efeito indireto via NVP	0,093	-0,395	-0,505
	Total	0,410	0,026	0,087
Coeficiente de determinação (R^2)		0,94	0,96	0,97
Efeito da variável residual		0,241	0,179	0,173

O atributo NVP apresentou maior efeito direto positivo sobre PG, independente da geração (0,884 em F2; 0,984 em F3 e 0,972 em F4), apesar de efeitos nulos e negativos para sobre os demais atributos. Deste modo, o atributo número de vagens pode ser considerado como uma boa opção no melhoramento da soja, no caso de seleção indireta para produtividade de grãos em gerações precoces.

Resultado semelhante é relatado por Alcântara Neto et al. (2011), ao observarem maior efeito direto do número de vagens sobre a produção total de grãos em plantas de soja. Nogueira et al. (2012), Pandini et al. (2002) e Teodoro et al. (2015) também concluíram que o atributo número de vagens por planta tem potencial para a seleção indireta de cultivares de soja mais produtivos.

Os efeitos diretos de NGV sobre PG foram de baixa magnitude nas três gerações (0,218 em F2; 0,223 em F3 e 0,240 em F4), demonstrando ser um atributo com pouca relação causa e efeito sobre PG, concordando com os resultados obtidos por Nogueira et al. (2012).

Assim como NGV, os efeitos diretos de M100G sobre PG também foram de baixa magnitude nas três gerações (0,245 em F2; 0,378 em F3 e 0,395 em F4), estando em concordância com os resultados obtidos por Leite et al. (2016) e Chandel et al. (2014). De acordo com Perini et al. (2012), a soja pode privilegiar demais atributos produtivos, em detrimento da M100G, como estratégia adaptativa em função das condições ambientais a que está sujeita.

Analisando-se os efeitos indiretos entre os componentes, constataram-se magnitudes de interferência moderada e negativa do NVP sobre M100G nas gerações F3 (-0,395) e F4 (-0,505), que resultou em baixa correlação, nestas gerações, entre M100G com PG. Nogueira et al. (2012) e Santos et al. (1995), também verificaram tais resultados em seus estudos.

Na Tabela 4 estão apresentados os efeitos diretos e indiretos dos atributos secundários sobre atributos primários de produção. Com base nestes efeitos é possível identificar atributos que podem maximizar a resposta correlacionada em um programa de melhoramento genético.

Os maiores valores positivos de efeito direto foram observados no atributo NDM sobre NVP (0,988 em F2; 0,701 em F3 e 0,832 em F4), indicando que a seleção indireta sobre o atributo primário seria eficiente. Foi observado, ainda, que o efeito direto entre NDF e M100G foi elevado e positivo na geração F3 (0,822). Os demais efeitos foram predominantemente negativos e/ou inferiores ao efeito residual não sendo, portanto, indicado a seleção indireta.

Comportamento semelhante entre NDM e NVP foi obtido por Santos et al. (1995) que, ao estudarem a associação entre componentes de produção e seus efeitos em progênies F6 de soja, observaram elevado efeito direto positivo de NDM sobre NVP (0,651). Machikowa e Laosuwan (2011), avaliando a correlação fenotípica e seus efeitos entre atributos agronômicos em linhagens de soja na Tailândia, também observaram efeito direto positivo de NDM sobre NVP (0,938).

Apesar da magnitude dos efeitos diretos positivos de NDM sobre NVP e NDF sobre M100G, Nogueira et al. (2012) alertam que efeitos residuais elevados e coeficientes de determinação de reduzida magnitude indicam a necessidade de inclusão de novos atributos no diagrama de trilha.

Tabela 4. Efeitos diretos e indiretos dos atributos secundários - número de dias para o florescimento (NDF) e número de dias para a maturação (NDM), sobre os atributos primários - número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (M100G) - estimados por meio de análise de trilha com vinte e uma populações segregantes de soja, em três gerações (F2, F3 e F4), Gurupi-TO

Efeitos	Atributos primários								
	NVP			NGV			M100G		
	F2	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	F4
Efeito direto de NDF	-0,824	-0,565	-0,389	0,042	0,272	-0,224	-0,069	0,822	0,065
Efeito indireto via NDM	0,857	0,601	0,571	-0,065	-0,360	0,045	0,053	-0,770	-0,038
Total	0,033	0,036	0,182	-0,023	-0,088	-0,179	-0,016	0,052	0,027
Efeito direto de NDM	0,988	0,701	0,832	-0,075	-0,420	0,065	0,061	-0,897	-0,056
Efeito indireto via NDF	-0,714	-0,485	-0,267	0,037	0,233	-0,153	-0,060	0,877	0,045
Total	0,274	0,216	0,565	-0,038	-0,187	-0,088	0,001	-0,020	-0,011
Coefficiente de determinação	0,342	0,230	0,400	0,219	0,254	0,234	0,312	0,275	0,202
Efeito residual	0,658	0,770	0,774	0,681	0,772	0,782	0,688	0,851	0,898

Atributos primários: número de vagens por planta – NVP; número de grãos por vagem – NGV; massa de cem grãos - M100G.

O efeito direto e indireto dos atributos secundários sobre a produção de grãos por planta via atributos primários, estão apresentados na Tabela 5. De modo geral, os efeitos dos atributos secundários sobre a produção de grãos confirmam os efeitos observados anteriormente destes sobre os atributos primários (Tabela 4).

O atributo NDF apresentou efeito direto total negativo sobre PG nas três gerações (-0,752 em F2; -0,167 em F3 e -0,430 em F4), além de efeitos diretos nulos e/ou negativos sobre PG via atributos primários. Resultados semelhantes são descritos por Mahbub et al. (2015), que, ao estudarem a associação entre componentes de produção em vinte e oito genótipos de soja, encontraram efeitos negativos de NDF sobre PG via demais componentes primários de produção. Frente a isto, os autores recomendam não considerar o atributo secundário NDF como critério de seleção indireta visando aumento de produtividade.

Por outro lado, o atributo NDM apresentou efeito direto positivo e de elevada magnitude sobre PG nas três gerações (0,869 em F2; 0,474 em F3 e 0,884 em F4), principalmente via NVP (0,873 em F2; 0,690 em F3 e 0,868 em F4), podendo ser utilizado como atributo para incrementos na produtividade.

Assim, o número de vagens por planta, como atributo primário, e o número de dias para maturação, como atributo secundário, são critérios importantes para a seleção de plantas, objetivando aumento da produtividade de grãos nas gerações iniciais de endogamia.

De modo geral, pode-se observar que houve concordância quanto à magnitude das correlações e análises de trilha nas três gerações de endogamia, o que evidencia o potencial de uso das mesmas como ferramenta para a seleção de plantas potencialmente promissoras nas gerações segregantes.

Tabela 5. Efeitos diretos e indiretos dos atributos secundários - número de dias para o florescimento (NDF) e número de dias para a maturação (NDM) - sobre a produtividade de grãos por planta, via atributos primários, estimados por meio de análise de trilha com vinte e uma populações segregantes de soja, em três gerações (F2, F3 e F4), Gurupi-TO

Efeitos	Atributos primários									Total		
	NVP			NGV			M100G			F2	F3	F4
	F2	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	F4			
Efeito direto de NDF	-0,728	-0,556	-0,405	0,009	0,060	-0,054	-0,017	0,386	0,033	-0,752	-0,167	-0,430
Efeito indireto via NDM	0,757	0,592	0,595	-0,014	-0,080	0,010	0,013	-0,291	-0,019	0,754	0,321	0,606
Total	0,029	0,036	0,190	-0,005	-0,020	-0,044	-0,004	0,095	0,014	0,002	0,154	0,176
Efeito direto de NDM	0,873	0,690	0,868	-0,016	-0,093	0,015	0,015	-0,339	-0,028	0,869	0,474	0,884
Efeito indireto via NDF	-0,632	-0,477	-0,278	0,008	0,052	-0,036	-0,014	0,332	0,022	-0,653	-0,143	-0,295
Total	0,241	0,213	0,590	-0,008	-0,041	-0,021	0,001	-0,007	-0,006	0,216	0,331	0,589

Atributos primários: número de vagens por planta – NVP; número de grãos por vagem – NGV; massa de cem grãos - M100G.

CONCLUSÕES

As correlações e análise de trilha podem ser úteis na identificação de genótipos com características superiores nas gerações iniciais dos programas de melhoramento

O número de vagens por planta e o número de dias para a maturação podem ser utilizados, via seleção indireta, para aumento na produtividade de grãos em soja, nas gerações iniciais de endogamia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKRAM, R.M.; FARES, W.M.; FATEH, H.S.A.; RIZK, A.M.A. Genetic variability, correlation and path analysis in soybean. **Egyptian Journal Plant Breed**, v.15, n.1, p.89-102, 2011.

ALCÂNTARA NETO, F.; AMARAL GRAVINA, G.; SOUSA MONTEIRO, M.M.; MORAIS, F.B.; PETTER, F.A.; ALBUQUERQUE, J.A.A. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientiae**, v.2, n.2, p.107-112, 2011.

ALMEIDA, R.D.; PELUZIO, J.M.; AFFERRI, F.S. Correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em soja cultivada sob condições várzea irrigada, sul do Tocantins. **Bioscience Journal**, v.26, n.1, p.95-99, 2010.

BENIN, G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; HARTWIG, I.; SCHMIDT, D.; VIEIRA, E.A.; VALÉRIO, I.P.; SILVA, J.G. Estimativas de correlações genotípicas e de ambiente em gerações com elevada frequência de heterozigotos. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.523-529, 2005.

BIZETI, H.S.; CARVALHO, C.G.P.; SOUZA, J.R.P.; DESTRO, D. Path analysis under multicollinearity in soybean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.47, n.5, 669-676, 2004.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L.F.; PÍPOLO, A.E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, n.1, p.11-16, 2005.

CARVALHO, A.D.F.; GERALDI, I.O.; SANTOS, V.S. Avaliação de progênies F2:4 e F4:6 de soja e perspectivas do uso de teste precoce para a produção de grãos. **Bragantia**, v.68, n.4, p.857-861, 2009.

CARVALHO, C.G.P.; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F.; OLIVEIRA, M.F.; VELLO, N.A. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.311-320, 2002.

CARVALHO, C.G.P.; OLIVEIRA, V.R.; CRUZ, C.D.; CASALI, V.W.D. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.4, p.603-613, 1999.

CHANDEL, K.K.; PATEL, N.B., PATEL, J.B. Correlation coefficients and path analysis in soybean (*Glycine max* L. merrill). **AGRES Journal**, v.3, n.1, p.25-31, 2014.

COIMBRA, J.L.M.; BENIN, G.; VIEIRA, E.A.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, F.I.F.; GUIDOLIN, A.F.; SOARES, A.P. Consequências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.347-352, 2005.

COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F.; CARVALHO, F.I.F.; COIMBRA, S.M.M.; MARCHIORO, V.S. Análise de trilha I: análise do rendimento de grãos e seus componentes. **Ciência Rural**, v.29, n.2, p.213-218, 1999.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. v.1. 480p.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.2, p.541-552, 2012.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279p.

HAGHI, Y.; BOROOMANDAN, P.; MORADIN, M.; HASSANKHALI, M.; FARHADI, P.; FARSAEI, F.; DABIRI, S. Correlation and path analysis for yield, oil and protein 64 content of Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotypes under different levels of nitrogen starter and plant density. **Biharean Biologist**, v.6, n.1, p.32-37, 2012.

HOOGERHEIDE, E.S.S.; VENCOVSKY, R.; FARIAS, F.J.C.; FREIRE, E.C.; ARANTES, E.M. Correlações e análise de trilha de caracteres tecnológicos e a produtividade de fibra de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.10, p.1401-1405, 2007.

LEITE, W.S.; PAVAN, B.E.; ALCÂNTARA NETO, F.; MATOS FILHO, C.H.A.; FEITOSA, F.S.; OLIVEIRA, C.B. Multivariate Exploratory Approach and Influence of Six Agronomic Traits on Soybean Genotypes Selection. **Nativa**, v.4, n.4, p.206-210, 2016.

LOPES, A.C. de A.; VELLO, N.A.; PANDINI, E.; ROCHA, M. de M.; TSUTSUMI, C.Y. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.341-348, 2002.

MACHIKOWA, T.; LAOSUWAN, P. Path coefficient analysis for yield of early maturing soybean. **Sonklanakarín Journal of Science and Technology**, v.33, n.4, p.365-369, 2011.

MAHBUB, M.M.; RAHMAN, M.M.; HOSSAIN, M.S.; MAHMUD, F.; KABIR, M.M. Genetic variability, correlation and path analysis for yield and yield components in soybean. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v.15, n.2, p.231-236, 2015.

NOGUEIRA, A.P.O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L.B.; HAMAWAK, O.T.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, D.G.; MATSUO, E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v.28, n.6, p.877-888, 2012.

PANDINI, F.; VELLO, N.A.; LOPES, A.C.A. Heterosis in soybeans for seed yield components and associated traits. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.45, n.4, p.401-412, 2002.

PERINI, L.J.; JÚNIOR, N.D.S.F.; DESTRO, D.; PRETE, C.E.C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.6, p.2531-2544, 2012.

PETTER, F.A.; ALCÂNTARA NETO, F.; BARROS, W.S.; ALMEIDA, F.A.; PACHECO, L.P.; LIMA, L.B.; GRAVINA, G.A. Phenotypic correlations and path analysis of soybean production components in the Brazilian cerrado of Piauí state. **Revista de Ciências Agrárias**, v.57, n.3, p.273-279, 2014.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba – SP: Nobel. 1990. 468p.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMAN, M.J.O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

RIGON, J.P.G.; CAPUANI, S.; BRITO NETO, J.F.; ROSA, G.M.; WASTOWSKI, A.D.; RIGON, C.A.G. Dissimilaridade genética e análise de trilha de cultivares de soja avaliada por meio de descritores quantitativos. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p.233-240, 2012.

SANTOS, C.A.F.; REIS, M.S.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA, C.S.; SEDIYAMA, T. Adequação de modelos no estudo do coeficiente de trilha dos componentes primários e secundários de progênies F6 de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill). **Revista Ceres**, v.42, n.240, p.111-121, 1995.

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

SOUZA JÚNIOR, C.L. Cultivar development of allogamous crops. **Crop Breeding and applied Biotechnology**, v.11, n.4, p.8-15, 2011.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H.; DICKEY, D.A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 3rd ed. New York: McGraw Hill Book, 1997. 666p.

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

STORCK, L.; RIBEIRO, N.D. Valores genéticos de linhas puras de soja preditos com o uso do método de Papadakis. **Bragantia**, v.70, n.4, p.753-758, 2011.

TEODORO, P.E.; RIBEIRO, L.P.; CORRÊA, C.C.G.; LUZ JÚNIOR, R.A.A.; SANTOS ZANUNCIO, A.; 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.

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, **produção mundial de soja no ano safra 2015/16**. Disponível em: <<http://www.sistemafeaep.org.br/usda-janeiro-2016.html>>, Acesso em: 14, agosto, 2016.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, n.7, p.557-585, 1921.

XAVIER, T.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B. Comportamento fenotípico em casa de vegetação de cultivares de soja na região norte do Piauí. **Caatinga**, v.21, n.04, p.05-08, 2008.