

Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas⁽¹⁾

Claudio Guilherme Portela de Carvalho⁽²⁾, Carlos Alberto Arrabal Arias⁽³⁾,
José Francisco Ferraz de Toledo⁽³⁾, Marcelo Fernandes de Oliveira⁽³⁾ e Natal Antônio Vello⁽⁴⁾

Resumo – A associação entre a produtividade e outras características da planta identifica caracteres para uso na seleção indireta para produtividade. A produtividade da soja é muito influenciada pelo fotoperíodo e pela temperatura, e a semeadura fora de época acarreta redução na produtividade. Os programas de melhoramento procuram desenvolver cultivares adaptadas a um período mais amplo de semeadura. No Brasil, entretanto, não há estudos sobre as inter-relações entre a produtividade e algumas características de importância agrônômica da soja (dias para maturação, altura da planta no florescimento e número de nós da haste principal), em um período mais amplo de semeadura (setembro a dezembro). Este trabalho procura quantificar essas relações e identificar possíveis critérios de seleção indireta em relação à produtividade, avaliando linhas puras derivadas dos cruzamentos entre BR85-29009, FT-2, BR-13 e OCEPAR-8. O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado. Os estudos de correlações e análise de trilha revelaram que a influência das características sobre a produtividade dependeu do cruzamento, da época de semeadura, e do ano. As correlações fenotípicas e genotípicas entre as características e a produtividade foram essencialmente positivas. As análises de trilha mostraram que dias para maturação e altura da planta no florescimento, individualmente, ou a combinação dias para maturação, altura da planta no florescimento e número de nós em um índice, podem auxiliar na seleção quanto à produtividade. A contribuição dos dois primeiros caracteres para o aumento na produtividade foi maior em semeaduras realizadas em novembro e outubro, respectivamente.

Termos para indexação: *Glycine max*, fenótipo, genótipo, critério de seleção, características agrônômicas, rendimento.

Correlation and path analyses in soybean lines sowed at different sowing dates

Abstract – The association between yield and other plant traits can be used for breeding purposes. Soybean yield is highly influenced by photoperiod and temperature and sowing outside the ideal date range usually results in yield loss. In general, plant breeding programs aim to develop cultivars with wide adaptation to planting dates. However, in Brazil, there are no reports on the association between yield and some important agronomic traits (days to maturity, plant height at flowering and number of trifoliolate nodes) related to adaptation to a wider sowing date period (September to December). This work seeks to establish and quantify these relationships aiming to identify an indirect criteria for yield selection in soybean, analyzing random inbred lines derived from the crosses between the FT-2, BR-13 and OCEPAR-8 cultivars and the BR85-29009 advanced line. A completely randomized design was used. The correlation and path analyses showed that the relationships between yield and the other traits varied according to the cross, sowing date and year. The phenotypic and genotypic correlations between them were essentially positive. The path analyses showed that days to maturity and plant height at flowering can, individually, help in the selection of higher yielding materials, specially in November and October. Also, an index combining days to maturity, height at flowering and number of trifoliolate nodes can contribute to yield selection.

Index terms: *Glycine max*, phenotypes, genotypes, selection criteria, agronomic characters, yields.

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 5 de outubro de 2001.
Parcialmente financiado pelo CNPq.

⁽²⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo),
Caixa Postal 231, CEP 86001-970 Londrina, PR. Bolsista do
CNPq. E-mail: cportela@cnpso.embrapa.br

⁽³⁾ Embrapa-CNPSo. E-mail: arias@cnpso.embrapa.br,
toledo@cnpso.embrapa.br, marcelo@cnpso.embrapa.br

⁽⁴⁾ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, CEP 13401-970
Piracicaba, SP. E-mail: naavello@carpa.ciagri.usp.br

Introdução

Um dos objetivos básicos dos programas de melhoramento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a obtenção de genótipos mais produtivos. A produtividade é um caráter complexo e resultante da expressão e associação de diferentes componentes. O conhecimento do grau dessa associação, por meio de estudos de correlações, possibilita identificar caracteres que podem ser usados como critérios de seleção indireta para produtividade.

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 conseqüência do efeito indireto de outros caracteres (Dewey & Lu, 1959). Com intuito de entender melhor as causas envolvidas nas associações entre caracteres, Wright (1921) propôs um método denominado análise de trilha (path analysis), que desdobra as correlações estimadas em efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre um caráter básico. Essa análise foi inicialmente realizada em plantas por Dewey & Lu (1959), e posteriormente aplicada em diversas culturas. Em soja, Pandey & Torrie (1973), Wakankar et al. (1974), Ali et al. (1989), Shivashankar & Viswanatha (1989), Akhter & Sneller (1996), Board et al. (1997), Taware et al. (1997) e Shukla et al. (1998) relatam sua utilização.

A produtividade da soja é muito influenciada por fatores ambientais, como o comprimento do dia e a temperatura. Diante dessa influência, a época ideal de semeadura no Brasil, de maneira geral, é de 1^o a 15 de novembro. A sua antecipação ou atraso pode acarretar grandes perdas de produtividade nas cultivares atualmente disponíveis. Isso tem incentivado os programas de melhoramento a desenvolver genótipos adaptados a um período mais amplo (setembro a dezembro) de semeadura (Lima, 1997). No entanto, até o momento, nenhum estudo foi feito para quantificar a importância da associação entre produtividade e demais caracteres, nesse período mais amplo de semeadura, para o processo de seleção.

Os objetivos deste trabalho foram: a) avaliar as correlações fenotípicas e genotípicas entre produtividade e características importantes e de uso acessível nos programas de melhoramento da soja;

b) realizar análises de trilha, tendo-se produtividade como caráter básico; c) estudar o efeito de diferentes épocas de semeadura na associação entre produtividade de grãos e as demais características; d) identificar possíveis critérios de seleção indireta para produtividade de grãos.

Material e Métodos

Foram analisados os dados obtidos de dois ensaios de linhas puras (F_9 e F_{10}) de soja, realizados nos anos agrícolas de 1993/94 e 1994/95, pela Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Soja, em Londrina (23°22' de latitude Sul), PR, Brasil. Essas linhas foram resultantes de cruzamentos envolvendo a linhagem BR85-29009 e as variedades FT-2, BR-13 e OCEPAR-8.

A escolha dos parentais foi realizada com base na origem, na duração dos ciclos vegetativo e reprodutivo, na resposta ao fotoperíodo, e nos níveis elevados de produtividade e variados de estabilidade. O coeficiente de Malécot é de 0,5 entre as variedades FT-2 e OCEPAR-8 e varia de 0,33 a 0,08 em relação às demais combinações parentais. Nas condições experimentais vigentes, os parentais apresentam ciclo de maturação semelhante, entre 125 a 135 dias. BR85-29009, FT-2 e BR-13 mostram resposta clássica ao fotoperíodo, e OCEPAR-8 apresenta florescimento tardio em dias curtos (Kiihl & Garcia, 1989). Estudos anteriores (Donato, 1994, utilizando a metodologia de Eberhart & Russell, 1966) mostraram que a maior estabilidade de produtividade foi observada na BR85-29009, e a menor, na BR-13.

Cem linhas puras derivadas de cada cruzamento foram obtidas pelo método descendente de uma única semente (single seed descent), sem seleção, em casa de vegetação. A multiplicação dessas linhas foi feita nos invernos imediatamente anteriores à instalação dos ensaios no campo, para garantir níveis semelhantes de vigor das sementes.

Quatro épocas de semeadura foram estabelecidas para os experimentos de campo nos anos agrícolas 1993/94 (27/9, 20/10, 17/11 e 17/12) e 1994/95 (20/9, 20/10, 17/11 e 17/12). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, parcelas de covas, e casualização individual das plantas nas parcelas (1 planta = 1 cova = 1 parcela). O espaçamento entre covas na fileira e entre fileiras foi de 0,2 e 1,5 m, respectivamente. Em cada cova foram semeadas quatro sementes, sendo três plantas desbastadas aleatoriamente dez dias após a semeadura. Entre cada fileira útil foram semeadas duas fileiras de bordadura com as sementes remanescentes dos experimentos, resultando no espaçamento final de 0,5 m entre

fileiras e uma densidade de aproximadamente 250.000 plantas /ha.

Adubação, controle fitossanitário, capina, remoção das bordaduras, irrigação e demais tratamentos culturais foram realizados de modo a manter as plantas sob condições ótimas de crescimento e desenvolvimento.

Os caracteres produtividade (PROD), dias para o florescimento (DFLO), altura da planta no florescimento (AFLO), dias para a maturação (DMAT), altura da planta na maturação (AMAT), número de nós da haste principal (NNO) e peso de 100 grãos (P100G) foram mensurados para fins de análise.

As análises de variância para os caracteres avaliados seguiram o modelo:

$$Y_{ijklm} = \mu + c_i + g_j / c_i + s_k + a_l + cs_{ik} + ca_{il} + gs / c_{jk(i)} + ga / c_{jl(i)} + sa_{kl} + csa_{ikl} + gsa / c_{jkl(i)} + \epsilon_{ijklm}$$

em que,

Y_{ijklm} é a observação referente à j-ésima linha do i-ésimo cruzamento, na k-ésima época de semeadura, no l-ésimo ano, na m-ésima repetição; μ é a média geral; c_i é o efeito do i-ésimo cruzamento; g_j/c_i é o efeito da j-ésima linha dentro de cada cruzamento; s_k é o efeito da k-ésima época de semeadura; a_l é o efeito do l-ésimo ano; cs_{ik} é o efeito da interação entre o i-ésimo cruzamento e a k-ésima época de semeadura; ca_{il} é o efeito da interação entre o i-ésimo cruzamento e o l-ésimo ano; $gs/c_{jk(i)}$ é o efeito da interação entre a j-ésima linha do i-ésimo cruzamento e a k-ésima época de semeadura; $ga/c_{jl(i)}$ é o efeito da interação entre a j-ésima linha do i-ésimo cruzamento e o l-ésimo ano; sa_{kl} é o efeito da interação entre k-ésima época de semeadura e o l-ésimo ano; csa_{ikl} é o efeito da interação entre o i-ésimo cruzamento, a k-ésima época de semeadura e o l-ésimo ano; $gsa/c_{jkl(i)}$ é o efeito da interação entre a j-ésima linha do i-ésimo cruzamento, a k-ésima época de semeadura e o l-ésimo ano; ϵ_{ijkl} é o erro experimental.

O efeito g_j/c_i foi considerado aleatório, e os demais, fixos.

Estimativas das correlações genotípicas (r_g) e fenotípicas (r_f) entre os caracteres foram obtidas como descrito por Mode & Robinson (1959). Foi feito o desdobramento dessas correlações em efeitos diretos e indiretos dos caracteres de importância agrônoma para a soja (variáveis independentes do modelo de regressão) sobre a produtividade de grãos (variável básica) por meio da análise de trilha (Wright, 1921).

As estimativas dos coeficientes de trilha necessários para mensurar os efeitos diretos e indiretos das características analisadas sobre a produtividade foram realizadas eliminando-se as que mais contribuíram para o aparecimento de multicolinearidade moderada ou severa na matriz ($X'X$) de correlações entre as variáveis independentes

(Carvalho et al., 1999). O grau de multicolinearidade da matriz $X'X$ foi estabelecido com base no seu número de condição (NC), que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz (Montgomery & Peck, 1981). Se $NC < 100$, a multicolinearidade foi tida como fraca e não constituiu problema sério na análise. Se $100 \leq NC < 1.000$, a multicolinearidade foi considerada de moderada a forte, e $NC \geq 1.000$ foi indicativo de multicolinearidade severa. A análise dos autovalores da matriz foi feita para identificar a natureza aproximada da dependência linear existente entre os caracteres, detectando aqueles que contribuíram para o aparecimento da multicolinearidade (Belsley et al., 1980). Os caracteres que apresentaram os maiores elementos nos autovetores associados aos menores autovalores foram os que mais contribuíram para este aparecimento. A diagnose de multicolinearidade e as outras análises deste estudo foram efetuadas utilizando-se o programa computacional Genes (Cruz, 1997).

Considerando-se as relações fenotípicas e genotípicas, a identificação de possíveis critérios de seleção indireta para produtividade foi feita com base no método de Board et al. (1997): a) as características mais desejáveis são as que se correlacionam positivamente com PROD e que apresentam efeitos diretos positivos e altos sobre essa característica; b) as características com efeitos diretos positivos moderados sobre produtividade (sem necessariamente serem correlacionadas positivamente) podem também servir como critérios de seleção; c) as características devem ter, preferencialmente, efeitos indiretos negativos mínimos sobre produtividade, através dos outros caracteres avaliados.

Resultados e Discussão

Interações significativas foram obtidas entre os efeitos de cruzamento, época de semeadura e ano, mostrando a necessidade de realização dos estudos de correlações e análises de trilha para cada combinação desses efeitos (Tabela 1). O maior coeficiente de variação foi estimado para PROD (37,717%) e o menor para DMAT (2,698%). O coeficiente de variação elevado de PROD, também obtido em condições experimentais similares (local, delineamento experimental, número de repetições) por Donato (1994) e Lima (1997), deveu-se à utilização de parcelas de covas com plantas individuais. Essa é uma característica de experimentos genéticos que necessitam de elevado número de grau de liberdade para tratamentos (Toledo, 1993). No entanto, a precisão

experimental pode ser considerada adequada, graças à significância dos efeitos testados e de suas interações.

Para uma específica combinação de cruzamento, época de semeadura e ano, as correlações genotípicas da PROD com DFLO, AFLO, DMAT, AMAT e NNO foram geralmente superiores às fenotípicas correspondentes (Tabelas 2 e 3), como verificado também por Johnson et al. (1955) e Taware et al. (1997). Por outro lado, P100G mostrou correlações fenotípicas com PROD maiores que as genotípicas. Esses resultados indicam haver uma interação diferenciada do ambiente sobre as relações de PROD com os demais caracteres. Quando as magnitudes das correlações não são semelhantes, as correlações genotípicas são intrinsecamente mais úteis que as correlações fenotípicas para decidir estratégias de seleção (Kang et al., 1983). Contudo, caracteres genotipicamente correlacionados mas não fenotipicamente correlacionados podem não ser de valor prático na seleção, pois esta é geralmente baseada no fenótipo (Shukla et al., 1998). Assim, os dois tipos de correlação foram considerados neste estudo para facilitar a decisão sobre a eficiência de um critério de seleção indireta.

Em média, as maiores correlações fenotípicas ($0,68 \pm 0,13$) e genotípicas ($0,79 \pm 0,13$) com PROD foram obtidas para AFLO. Estes valores positivos foram ligeiramente superiores aos estimados para AMAT ($0,65 \pm 0,14$ e $0,75 \pm 0,15$, respectivamente),

DMAT ($0,62 \pm 0,13$ e $0,74 \pm 0,15$), DFLO ($0,60 \pm 0,16$ e $0,74 \pm 0,16$) e NNO ($0,64 \pm 0,13$ e $0,72 \pm 0,16$), sugerindo que essas características contribuíram para o aumento da PROD em soja. O grau de associação entre os componentes e PROD dependeu do cruzamento, da época de semeadura e do ano, como pode ser verificado pela significância ($P < 0,01$) da maioria das interações entre essas fontes de variação, obtidas na análise de variância das características (Tabela 1). Esses resultados são discordantes dos de Board et al. (1997), Taware et al. (1997) e Shukla et al. (1998), que obtiveram correlações negativas ou não-significativas entre PROD e algum destes caracteres. As menores correlações fenotípicas ($0,31 \pm 0,20$) e genotípicas ($0,25 \pm 0,26$) com PROD foram obtidas para P100G (Tabelas 2 e 3). A baixa correlação entre PROD e P100G pode ser explicada pela compensação que a soja frequentemente promove, aumentando ou diminuindo o tamanho das sementes em função do número de vagens (de sementes) em desenvolvimento (Taware et al., 1997). Contudo, algumas correlações moderadas entre esses caracteres foram observadas, como no cruzamento BR-13 x OCEPAR-8, em setembro e outubro de 1994. Oscilação na influência do tamanho da semente no aumento da produtividade foi também encontrada por Board et al. (1997) ao avaliar cultivares de soja em diferentes espaçamentos de fileiras e tratamentos de desfolha parcial.

Tabela 1. Análise de variância dos dados de produtividade e de outras características importantes nos programas de melhoramento da soja, avaliadas em ensaios de linhas puras (F_9 e F_{10}), realizados nos anos agrícolas de 1993/94 e 1994/95, pela Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Soja, em Londrina, PR, Brasil⁽¹⁾.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio						
		PROD	DFLO	AFLO	DMAT	AMAT	NNO	P100G
Cruzamentos (C)	5	48.565,290**	14.639,037**	24.072,148**	16.370,206**	317.863,322**	1.040,121**	1.210,101**
Linhas/C	5.940	2.231,804**	289,705**	1.182,388**	786.775,519**	1.086.674,574**	27,775**	55,765**
Épocas de semeadura (S)	3	196.842,762**	37.495,083**	752.530,657**	1.096.371,403**	4.087.027,751**	10.446,739**	9.611,743**
Anos (A)	1	172.896,274**	48.940,884**	5.628,065**	457.229,311**	14.169,559**	2.145,274**	19.740,665**
C x S	15	4.730,638**	501,121**	2.143,759**	32.083,286**	60.849,331**	55,847**	85,249**
C x A	5	2.079,455**	0,001 ^{ns}	305,723**	0,001 ^{ns}	6.663,048**	17,311**	12,963**
L x S/C	1.778	308,375**	24,062**	112,340**	153.920,002**	318.958,453**	3,599**	6,327**
L x A/C	590	264,761**	10,991**	63,741**	11.408,656**	76.508,903**	3,147**	6,264**
S x A	3	8.416,337**	9.884,084**	89.876,720**	148.270,008**	486.137,630**	3.765,199**	3.754,573**
C x S x A	15	1.291,694**	60,690**	97,000**	4.346,876**	2.935,898**	5,718**	59,701**
L x S x A/C	1.747	165,142**	4,651**	41,050**	7,248**	78,614**	2,193**	4,228**
Erro	14.345	134,899	2,360	28,517	8,867	58,873	1,754	3,021
Média		30,793	41,718	38,796	110,356	54,194	11,891	15,940
CV (%)		37,717	3,682	13,764	2,698	14,158	11,138	10,903

⁽¹⁾PROD: produtividade em grama/planta; DFLO: dias para o florescimento; AFLO: altura da planta no florescimento em cm; DMAT: dias para a maturação; AMAT: altura da planta na maturação em cm; NNO: número de nós da haste principal; P100G: peso de 100 grãos em gramas. ^{ns}Não-significativo. **Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Cruzamentos com OCEPAR-8 (cultivar de período juvenil longo) mostraram maiores correlações fenotípicas entre DMAT e PROD, principalmente em combinação com BR85-29009. Esses resultados foram menos evidentes nas análises das correlações genotípicas. Não houve diferenças discrepantes nas correlações entre DFLO, AFLO, AMAT, NNO, P100G com PROD, ao comparar descendentes de cruzamentos envolvendo cultivares normais com normais e descendentes de cultivares normais com a de período juvenil longo. Na comparação de correlações entre dois caracteres obtidas em diferentes épocas de semeadura, a magnitude dessas correlações variou muito, de acordo com o ano e o caráter.

O número de condição das matrizes de correlações fenotípicas dos caracteres independentes foram geralmente inferiores a 100, mostrando haver multicolinearidade fraca entre estes caracteres. Por outro lado, a maior parte das matrizes de correlações genotípicas apresentaram multicolinearidade

de moderada a forte. Isto reforça a possibilidade de ambiente estar interagindo de modo diferencial nas relações de PROD com os demais caracteres. A inclusão simultânea de AFLO e AMAT nas matrizes foi a principal causa do aparecimento da multicolinearidade. Segundo Hoerl & Kennard (1970a, 1970b) e Carvalho (1995), as variâncias associadas aos estimadores dos coeficientes de trilha podem atingir valores demasiadamente elevados, tornando-os pouco confiáveis nestas situações. Para contornar os efeitos adversos da multicolinearidade, realizou-se a eliminação seletiva das características que mais contribuíram para o seu aparecimento e, por conseqüência, os respectivos efeitos diretos não foram estimados (Tabelas 4 e 5).

Os coeficientes de determinação (R^2) fenotípica e genotípica das análises de trilha variaram de 0,40 a 0,85 (média de $0,67 \pm 0,11$) e de 0,41 a 1,00 (média de $0,86 \pm 0,12$), respectivamente. Em muitas análises envolvendo correlações fenotípicas a contribuição

Tabela 2. Estimativas de correlações fenotípicas entre produtividade de grãos e caracteres relacionados à produtividade, obtidas de linhagens de soja resultantes dos cruzamentos entre a linhagem BR85-29009 e as variedades FT-2, BR-13 e OCEPAR-8, cultivadas em diferentes épocas de semeadura, em 1993 e 1994.

Caráter ⁽¹⁾	Época de semeadura	Cruzamento											
		BR85-29009		BR85-29009		BR85-29009		FT-2		FT-2		BR-13	
		x		x		x		x		x		x	
		FT-2	FT-2	BR-13	BR-13	OCEPAR-8	OCEPAR-8	BR-13	BR-13	OCEPAR-8	OCEPAR-8	BR-13	BR-13
		1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994
DFLO	Setembro	0,35	0,60	0,74	0,79	0,68	0,78	0,57	0,72	0,51	0,67	0,67	0,80
	Outubro	0,53	0,46	0,82	0,77	0,84	0,78	0,80	0,73	0,74	0,72	0,82	0,77
	Novembro	0,37	0,33	0,71	0,50	0,69	0,69	0,53	0,36	0,57	0,66	0,69	0,61
	Dezembro	0,19	0,26	0,50	0,62	0,47	0,64	0,50	0,47	0,36	0,65	0,54	0,56
AFLO	Setembro	0,42	0,69	0,71	0,81	0,66	0,80	0,57	0,69	0,60	0,79	0,68	0,86
	Outubro	0,67	0,68	0,85	0,88	0,80	0,87	0,80	0,80	0,79	0,73	0,80	0,84
	Novembro	0,62	0,46	0,80	0,61	0,76	0,64	0,59	0,47	0,73	0,66	0,79	0,62
	Dezembro	0,30	0,57	0,56	0,75	0,60	0,70	0,58	0,67	0,50	0,65	0,66	0,73
DMAT	Setembro	0,35	0,66	0,74	0,77	0,78	0,77	0,57	0,68	0,61	0,66	0,71	0,81
	Outubro	0,40	0,34	0,56	0,50	0,86	0,73	0,53	0,34	0,70	0,72	0,71	0,54
	Novembro	0,43	0,64	0,55	0,70	0,73	0,78	0,59	0,63	0,58	0,78	0,65	0,73
	Dezembro	0,49	0,55	0,48	0,63	0,51	0,71	0,67	0,48	0,52	0,71	0,63	0,65
AMAT	Setembro	0,46	0,73	0,71	0,82	0,65	0,80	0,60	0,80	0,48	0,77	0,66	0,84
	Outubro	0,58	0,71	0,83	0,84	0,79	0,80	0,78	0,78	0,77	0,69	0,76	0,74
	Novembro	0,57	0,39	0,76	0,52	0,77	0,58	0,56	0,39	0,75	0,54	0,76	0,50
	Dezembro	0,20	0,56	0,52	0,73	0,58	0,70	0,59	0,63	0,46	0,59	0,52	0,69
NNO	Setembro	0,31	0,67	0,67	0,78	0,67	0,84	0,61	0,71	0,59	0,78	0,57	0,77
	Outubro	0,56	0,67	0,74	0,78	0,85	0,77	0,74	0,73	0,74	0,79	0,72	0,71
	Novembro	0,51	0,40	0,71	0,40	0,76	0,71	0,51	0,38	0,74	0,58	0,67	0,58
	Dezembro	0,43	0,42	0,59	0,63	0,62	0,70	0,60	0,58	0,66	0,63	0,54	0,70
P100G	Setembro	0,25	0,42	0,31	0,47	-0,12	0,18	-0,01	0,38	-0,01	0,52	0,43	0,65
	Outubro	0,13	0,33	0,29	0,60	-0,14	0,42	0,26	0,52	0,15	0,52	0,22	0,70
	Novembro	0,15	0,40	0,31	0,39	0,18	0,21	0,39	0,19	0,45	0,51	0,50	0,56
	Dezembro	0,32	0,38	0,33	0,17	0,16	0,02	-0,09	0,13	0,40	0,54	0,37	0,45

⁽¹⁾DFLO: dias para o florescimento; AFLO: altura da planta no florescimento em cm; DMAT: dias para a maturação; AMAT: altura da planta na maturação em cm; NNO: número de nós da haste principal; P100G: peso de 100 grãos em gramas.

do erro residual foi semelhante ou superior ao do R^2 , indicando, assim, que as características independentes influenciaram pouco a PROD. A variação fenotípica da PROD foi geralmente melhor explicada nas sementeiras realizadas em outubro, e pior, nas de dezembro, pelas demais características. Em sementeiras de setembro, as características explicaram muito bem a PROD apenas em 1994. O erro residual foi quase sempre baixo nas correlações genotípicas, mostrando que as características influem geneticamente na expressão de PROD e, dependendo do grau de influência, podem ser utilizadas em um índice de seleção.

Diferindo das correlações, a superioridade ou inferioridade sobre PROD dos efeitos diretos genotípicos, em relação aos fenotípicos, dependeu da característica, do cruzamento, da época de sementeira e do ano avaliados. Kang et al. (1983) mencionam que efeitos diretos genotípicos devem ser mais úteis para fins de seleção. Contudo, em razões análogas às

referidas para correlações, os dois tipos de efeitos foram considerados importantes neste estudo.

De modo geral, DMAT ou AFLO foi o caráter que apresentou o maior efeito direto fenotípico. Os maiores valores para DMAT foram observados quando as sementeiras foram feitas em novembro (independente do cruzamento) e FT-2 x BR-13 (independente da época). Para AFLO, os maiores efeitos diretos fenotípicos ocorreram em sementeiras de outubro e em BR85-29009 x BR-13. Em poucas combinações de cruzamento-época-ano, o maior efeito direto foi obtido para DFLO, AMAT ou P100G, apesar das moderadas correlações estimadas para os dois primeiros caracteres. Não houve predomínio de um caráter em apresentar maior efeito direto sobre produtividade, ao comparar descendentes de cruzamentos envolvendo cultivares normais com normais e descendentes de cultivares normais com a de período juvenil longo (OCEPAR-8).

Tabela 3. Estimativas de correlações genotípicas entre produtividade de grãos e caracteres relacionados à produtividade, obtidas de linhagens de soja resultantes dos cruzamentos entre a linhagem BR85-29009 e as variedades FT-2, BR-13 e OCEPAR-8, cultivadas em diferentes épocas de sementeira, em 1993 e 1994.

Caráter ⁽¹⁾	Época de sementeira	Cruzamento											
		BR85-29009 x FT-2		BR85-29009 x BR-13		BR85-29009 x OCEPAR-8		FT-2 x BR-13		FT-2 x OCEPAR-8		BR-13 x OCEPAR-8	
		1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994
DFLO	Setembro	0,44	0,73	0,81	0,87	0,79	0,98	0,69	0,88	0,61	0,83	0,75	0,88
	Outubro	0,70	0,57	0,91	0,82	0,93	0,87	0,94	0,82	0,87	0,85	0,97	0,86
	Novembro	0,48	0,45	0,87	0,60	0,78	0,81	0,71	0,49	0,75	0,81	0,90	0,72
	Dezembro	0,36	0,39	0,60	0,75	0,61	0,85	0,65	0,64	0,62	0,91	0,87	0,64
AFLO	Setembro	0,45	0,77	0,76	0,87	0,74	0,90	0,63	0,77	0,65	0,92	0,75	0,93
	Outubro	0,81	0,75	0,92	0,93	0,86	0,91	0,90	0,88	0,88	0,85	0,90	0,87
	Novembro	0,77	0,59	0,91	0,73	0,84	0,71	0,71	0,59	0,90	0,78	0,99	0,72
	Dezembro	0,35	0,68	0,64	0,85	0,72	0,84	0,69	0,82	0,73	0,85	0,94	0,81
DMAT	Setembro	0,45	0,79	0,83	0,84	0,91	0,95	0,71	0,79	0,79	0,78	0,81	0,88
	Outubro	0,48	0,43	0,61	0,51	0,94	0,83	0,59	0,37	0,80	0,82	0,80	0,58
	Novembro	0,51	0,77	0,66	0,81	0,84	0,89	0,73	0,77	0,71	0,90	0,78	0,84
	Dezembro	0,69	0,69	0,56	0,74	0,63	0,92	0,81	0,59	0,74	0,95	0,94	0,73
AMAT	Setembro	0,51	0,85	0,78	0,89	0,73	0,91	0,70	0,89	0,49	0,89	0,74	0,92
	Outubro	0,69	0,79	0,89	0,90	0,85	0,93	0,87	0,85	0,86	0,79	0,85	0,78
	Novembro	0,69	0,52	0,86	0,64	0,84	0,65	0,65	0,53	0,92	0,67	0,96	0,61
	Dezembro	0,20	0,65	0,62	0,83	0,72	0,84	0,69	0,78	0,63	0,75	0,73	0,76
NNO	Setembro	0,31	0,76	0,78	0,87	0,79	0,98	0,87	0,82	0,72	0,90	0,65	0,87
	Outubro	0,71	0,74	0,81	0,83	0,91	0,89	0,82	0,81	0,85	0,93	0,79	0,77
	Novembro	0,60	0,44	0,78	0,45	0,82	0,77	0,64	0,38	0,89	0,65	0,79	0,65
	Dezembro	0,39	0,29	0,67	0,65	0,64	0,73	0,67	0,64	0,95	0,71	0,62	0,78
P100G	Setembro	0,12	0,35	0,27	0,45	-0,35	-0,07	-0,20	0,26	-0,19	0,37	0,42	0,66
	Outubro	0,03	0,24	0,24	0,60	-0,30	0,36	0,17	0,50	0,04	0,49	0,10	0,72
	Novembro	0,10	0,45	0,28	0,42	0,12	0,17	0,37	0,08	0,39	0,54	0,49	0,62
	Dezembro	0,39	0,36	0,37	0,11	0,09	-0,16	-0,24	0,02	0,51	0,56	0,43	0,46

⁽¹⁾DFLO: dias para o florescimento; AFLO: altura da planta no florescimento em cm; DMAT: dias para a maturação; AMAT: altura da planta na maturação em cm; NNO: número de nós da haste principal; P100G: peso de 100 grãos em gramas.

O maior efeito direto genotípico foi obtido geralmente para DMAT, AMAT ou AFLO. A importância do uso de AMAT como critério de seleção indireta foi reduzida, pois esse caráter mostrou um número menor de efeitos diretos fenotípicos de boa magnitude. Contudo, deve-se ressaltar que não foram estimados os coeficientes de trilha para AFLO em muitas análises, em decorrência da multicolinearidade. Nestas situações, a inclusão de AFLO na matriz X'X, em substituição a AMAT, permitiu obter efeitos diretos altos para o primeiro caráter. Assim, as análises fenotípicas e genotípicas revelaram a utilidade da avaliação da altura de planta no florescimento, apesar de esta ser preferencialmente realizada na maturação (Ali et al., 1989; Shivashankar & Viswanatha, 1989; Taware et al., 1997). Os maiores efeitos diretos genotípicos para DMAT e AFLO foram obtidos em épocas e cruzamentos semelhantes aos estimados na análise fenotípica.

As combinações BR85-29009 x FT-2 (outubro/1993), BR85-29009 x OCEPAR-8 (novembro/1994), FT-2 x BR-13 (novembro/1994) e FT-2 x OCEPAR-8 (dezembro/1993), entre outras, são exemplos de obtenção de correlações positivas e efeitos diretos negativos ou nulos de DFLO sobre produtividade. Esses resultados revelam a contribuição da análise de trilha em mostrar as verdadeiras relações fenotípicas e genotípicas de causa-efeito entre os caracteres avaliados. Apesar da sua importância indicada no estudo de correlações, DFLO apresentou poucos efeitos diretos positivos de magnitudes moderadas a altas. Peso de 100 grãos mostrou também influenciar pouco a variação fenotípica e genotípica de produtividade de grãos. Mesmo quando as correlações entre estes caracteres foram altas, os efeitos diretos foram geralmente negligenciáveis. A pouca relevância de DFLO na determinação da produtividade foi também descrita por Shivashankar

Tabela 4. Efeitos diretos fenotípicos de caracteres relacionados à produtividade sobre a produtividade de grãos estimados a partir de avaliações feitas em linhagens de soja resultantes dos cruzamentos entre a linhagem BR85-29009 e as variedades FT-2, BR-13 e OCEPAR-8, cultivadas em diferentes épocas de semeadura, em 1993 e 1994.

Caráter ⁽¹⁾	Época de semeadura	Cruzamento											
		BR85-29009		BR85-29009		BR85-29009		FT-2		FT-2		BR-13	
		x		x		x		x		x		x	
		FT-2		BR-13		OCEPAR-8		BR-13		OCEPAR-8		OCEPAR-8	
		1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994
DFLO	Setembro	0,10	0,11	0,21	0,03	0,03	0,14	0,12	0,16	-0,12	0,01	0,12	0,08
	Outubro	-0,05	-0,07	0,23	-0,10	0,02	-0,11	-0,01	0,10	-0,14	0,20	0,28	-0,02
	Novembro	-0,08	-0,08	0,09	-0,16	-0,14	-0,53	-0,19	-0,71	-0,20	-0,19	-0,06	-0,06
AFLO	Setembro	-0,01	-0,17	-0,01	-0,09	0,09	-0,24	-0,39	-0,16	-0,40	-0,44	-0,36	-0,36
	Outubro	0,10	0,12	0,12	-	0,23	0,30	0,11	-0,03	0,47	0,14	0,20	0,27
	Novembro	0,70	-0,08	0,44	0,55	0,12	0,57	0,32	0,39	0,42	-0,09	0,28	0,60
DMAT	Setembro	0,20	0,24	0,35	0,65	0,11	0,32	0,11	0,60	0,17	0,25	0,13	0,18
	Outubro	0,48	0,31	0,24	0,32	0,38	0,20	0,06	0,38	0,22	0,33	0,58	0,20
	Novembro	0,20	0,29	0,46	0,27	0,64	0,24	0,33	0,29	0,43	0,22	0,49	0,28
AMAT	Setembro	0,23	0,36	-	0,49	0,42	0,16	0,33	0,17	0,31	0,28	0,26	0,20
	Outubro	0,41	0,52	0,12	0,51	0,16	0,81	0,35	0,74	0,08	0,55	0,25	0,41
	Novembro	0,22	0,47	0,11	0,29	0,19	0,41	0,59	0,23	0,43	0,61	0,44	0,39
NNO	Setembro	0,18	0,10	-	0,25	-0,27	-0,12	0,12	0,32	-0,45	0,10	0,11	-
	Outubro	-0,25	0,55	0,05	-	-	0,13	0,12	0,21	-	0,12	-0,08	-0,20
	Novembro	0,21	0,02	0,09	-0,28	0,34	-0,15	0,24	-0,07	0,32	-	0,43	-0,15
P100G	Setembro	-0,48	0,10	-0,01	0,14	0,19	0,15	0,40	0,07	-0,10	-	-0,14	0,19
	Outubro	0,10	0,31	0,67	0,30	0,23	0,39	0,24	0,22	0,45	0,35	-0,14	0,21
	Novembro	0,37	0,41	0,16	0,36	0,37	0,16	0,29	0,03	0,36	0,44	0,21	0,30
P100G	Setembro	0,31	0,25	0,34	0,07	0,38	0,42	0,25	0,17	0,37	0,18	0,06	0,35
	Outubro	0,44	0,23	0,38	0,27	-0,02	0,35	0,21	0,36	0,53	0,28	0,27	0,42
	Novembro	0,33	0,33	0,31	0,24	0,10	0,27	-0,01	0,33	0,01	0,28	0,18	0,23
P100G	Setembro	0,17	0,15	0,18	0,03	0,01	0,10	0,09	0,25	0,15	0,12	0,09	0,24
	Outubro	0,01	0,18	-0,02	0,19	0,20	0,16	0,26	0,10	0,15	0,22	0,18	0,34
	Novembro	0,29	0,13	0,17	0,15	-0,01	0,10	0,08	0,21	0,09	0,17	0,06	0,20

⁽¹⁾DFLO: dias para o florescimento; AFLO: altura da planta no florescimento em cm; DMAT: dias para a maturação; AMAT: altura da planta na maturação em cm; NNO: número de nós da haste principal; P100G: peso de 100 grãos em gramas.

& Viswanatha (1989) e Shukla et al. (1998). Por outro lado, Pandey & Torrie (1973) e Ali et al. (1989) encontraram efeitos diretos genotípicos moderados a altos de P100G sobre produtividade de grãos em soja cultivada em diferentes densidades e épocas (primavera e outono) de semeadura, respectivamente.

A contribuição de DMAT, AFLO e NNO em aumentar a produtividade de grãos dependeu do cruzamento, da época de semeadura e do ano avaliados. Essa contribuição não refletiu, necessariamente, a magnitude das correlações estimadas. Em setembro de 1994, considerando-se principalmente as relações fenotípicas, por exemplo, este conjunto de caracteres não foi suficiente em nenhum cruzamento para a determinação de critérios de seleção indireta eficientes. Contudo, as correlações fenotípicas correspondentes tinham sido, em 1994, geralmente maiores nesta época de semeadura (Tabela 1).

Dias para maturação e AFLO, considerados isoladamente ou combinados com AFLO (ou DMAT) e NNO em índice de seleção, foram os critérios de seleção indireta que geralmente explicaram melhor as variações fenotípicas e genotípicas de produtividade (Tabelas 2 a 5). Isto advém das magnitudes de suas correlações e efeitos diretos; bem como dos efeitos indiretos negativos e mínimos, ou positivos, sobre produtividade por meio dos outros caracteres. Contudo, ressalta-se que os altos efeitos residuais estimados em muitas análises de trilha, envolvendo principalmente as correlações fenotípicas, revelaram que outras características não avaliadas nesses estudos podem ter contribuído significativamente para PROD. Devido a isso, talvez fosse necessário adicionar outras características às aqui estudadas, para melhorar a capacidade de seleção de um possível índice. Nesse sentido, colaboram resultados de Shivashankar & Viswanatha (1989), Taware et al.

Tabela 5. Efeitos diretos genotípicos de caracteres relacionados à produtividade sobre a produtividade de grãos estimados a partir de avaliações feitas em linhagens de soja resultantes dos cruzamentos entre a linhagem BR85-29009 e as variedades FT-2, BR-13 e OCEPAR-8, cultivadas em diferentes épocas de semeadura, em 1993 e 1994.

Caráter ⁽¹⁾	Época de semeadura	Cruzamento											
		BR85-29009 x FT-2		BR85-29009 x BR-13		BR85-29009 x OCEPAR-8		FT-2 x BR-13		FT-2 x OCEPAR-8		BR-13 x OCEPAR-8	
		1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994
DFLO	Setembro	0,11	0,06	0,28	0,22	-0,07	0,86	-0,22	0,19	-0,80	-0,16	0,39	-0,23
	Outubro	-0,01	-0,11	0,21	-0,32	0,16	-0,05	0,48	0,61	0,05	0,16	1,46	0,17
	Novembro	-0,09	-0,01	0,27	-0,09	-0,17	-0,42	-0,23	-0,57	-	0,10	0,34	0,02
	Dezembro	-0,02	-0,27	-0,12	0,01	-0,01	-0,06	-0,27	-0,05	-0,52	0,70	1,77	-
AFLO	Setembro	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	0,57	-	0,46
	Outubro	0,55	-	0,50	0,60	-	-	-	0,95	-	-	-	0,51
	Novembro	0,48	-	0,53	0,62	-	-	0,03	-	-	-	-	-
	Dezembro	-	-	-0,19	-	-	-	-0,23	0,57	0,90	0,21	0,28	0,81
DMAT	Setembro	0,29	0,41	0,61	0,23	0,99	0,21	0,27	0,34	-	0,26	0,60	0,39
	Outubro	0,34	0,51	0,15	0,34	0,51	0,37	0,25	0,14	0,36	0,41	0,06	0,26
	Novembro	0,46	0,65	0,11	0,56	0,25	0,99	0,43	0,96	-0,05	0,65	0,12	0,50
	Dezembro	0,54	0,76	0,08	0,28	0,23	1,02	0,84	0,12	-0,01	-	-	0,16
AMAT	Setembro	0,40	0,45	-	0,47	-0,17	-0,02	0,11	0,28	-0,95	-	0,92	-
	Outubro	-	0,55	-	-	0,09	0,73	0,35	-	0,29	-0,08	-0,38	-
	Novembro	0,01	0,42	-	-	0,48	0,15	0,29	0,80	0,61	0,51	1,01	0,01
	Dezembro	0,04	0,68	0,55	0,60	0,52	0,17	0,87	0,03	-0,59	-	-	-
NNO	Setembro	-0,03	0,12	-	-	0,15	-	0,83	0,25	2,40	0,36	-1,05	0,38
	Outubro	0,36	0,47	0,16	0,61	0,20	-	-	-0,73	0,31	0,64	-0,19	-
	Novembro	0,38	0,12	0,21	-0,19	0,37	0,21	0,37	-0,30	0,36	-0,33	-0,48	0,28
	Dezembro	0,32	-0,10	0,46	0,07	0,08	-0,22	-0,11	0,31	1,07	-0,08	-1,24	0,45
P100G	Setembro	0,26	0,20	0,19	0,13	0,01	0,18	-0,06	0,29	-0,51	-0,02	0,17	0,07
	Outubro	0,10	0,06	0,12	-0,10	-0,08	-0,05	0,00	0,26	0,05	-0,08	-0,05	0,17
	Novembro	-0,04	0,19	-0,15	0,22	0,18	0,12	0,27	0,03	0,05	0,18	0,08	0,37
	Dezembro	0,17	-0,12	0,32	0,17	0,03	-0,01	0,25	0,20	0,15	0,22	0,09	0,30

⁽¹⁾DFLO: dias para o florescimento; AFLO: altura da planta no florescimento em cm; DMAT: dias para a maturação; AMAT: altura da planta na maturação em cm; NNO: número de nós da haste principal; P100G: peso de 100 grãos em gramas.

(1997) e Shukla et al. (1998), que, ao contrário dos resultados obtidos neste trabalho, concluíram que DMAT e NNO têm pouca influência na PROD.

Conclusões

1. As características agronômicas avaliadas (dias para maturação, altura da planta no florescimento e número de nós da haste principal) têm influência variável na produtividade, dependendo do cruzamento, da época de semeadura e do ano.

2. Dias para maturação e altura da planta no florescimento, individualmente, ou a combinação dias para maturação, altura da planta no florescimento e número de nós da haste principal em um índice, podem auxiliar na seleção quanto à produtividade, em casos específicos; a contribuição dos dois primeiros caracteres para o aumento na produtividade é maior em novembro e outubro, respectivamente.

3. A avaliação da altura da planta na floração é mais eficiente que a realizada na maturação para fins de seleção de linhagens mais produtivas.

4. Dias para floração e peso de 100 grãos influenciam pouco a variação fenotípica e genotípica de rendimento de grãos.

Referências

- AKHTER, M.; SNELLER, C. H. Yield and yield components of early maturing soybean genotypes in the mid south. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 4, p. 877-882, July/Aug. 1996.
- ALI, A. A. D. M.; FRAJ, B. H.; IBRAHEEN, S. A. Correlation and path coefficient analysis of yield and certain characters of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in Iraq. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACIÓN EN SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: AASOJA, 1989. t. 2, p. 974-982.
- BELSLEY, D. A.; KUH, E.; WELCH, R. E. **Regression diagnostics: identifying data and sources of colinearity**. New York: J. Wiley, 1980. 292 p.
- BOARD, J. E.; KANG, M. S.; HARVILLE, B. G. Path analysis identify indirect selection criteria for yield of late planted soybean. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 3, p. 879-884, May/June 1997.
- CARVALHO, C. G. P. de; OLIVEIRA, V. R.; CRUZ, C. D.; CASALI, V. W. D. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 603-613, abr. 1999.
- CARVALHO, S. P. de. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 163 p. Tese de Doutorado.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 442 p.
- DEWEY, D. R.; LU, K. H. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, n. 9, p. 515-518, Sept. 1959.
- DONATO, L. T. **Efeito da interação genótipos x ambientes na produtividade em soja**. Londrina: UEL, 1994. 92 p. Dissertação de Mestrado.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 36-40, 1966.
- HOERL, A. E.; KENNARD, R. W. Ridge regression: applications to nonorthogonal problems. **Technometrics**, Alexandria, v. 12, n. 1, p. 69-82, 1970a.
- HOERL, A. E.; KENNARD, R. W. Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems. **Technometrics**, Alexandria, v. 12, n. 1, p. 55-68, 1970b.
- JOHNSON, H. W.; ROBINSON, H. F.; COMSTOCK, R. E. Genotypic and phenotypic correlations in soybean and their importance in selection. **Agronomy Journal**, Madison, v. 47, p. 477-483, 1955.
- KANG, M. S.; MILLER, J. D.; TAI, P. Y. P. Genetic and phenotypic path analyses and heritability in sugarcane. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 4, p. 643-647, July/Aug. 1983.
- KIIHL, R. A.; GARCIA, A. The use of the long juvenile trait in breeding cultivars. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACIÓN EN SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: AASOJA, 1989. t. 2, p. 994-1000.
- LIMA, W. F. **Estabilidade na altura de planta e na produtividade da soja em diferentes épocas de semeadura**. Londrina: UEL, 1997. 96 p. Dissertação de Mestrado.
- MODE, J. C.; ROBINSON, H. F. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. **Biometrics**, Washington, v. 15, n. 4, p. 518-537, Dec. 1959.

- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504 p.
- PANDEY, J. P.; TORRIE, J. H. Path coefficient analysis of seed yield components in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 5, p. 505-507, Sept./Oct. 1973.
- SHIVASHANKAR, G.; VISWANATHA, S. R. Soybean introduction and improvement in Karnataka state of India. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACIÓN EN SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: AASOJA, 1989. t. 3, p. 1204-1208.
- SHUKLA, S.; SINGH, K.; PUSHPENDRA. Correlation and path coefficient analysis of yield and its components in soybean (*Glycine max* L. Merrill.). **Soybean Genetics Newsletter**, Ames, v. 25, p. 67-70, May 1998.
- TAWARE, S. P.; HALVANKAR, G. B.; RAUT, V. M.; PATIL, V. P. Variability, correlation and path analysis in soybean hybrids. **Soybean Genetics Newsletter**, Ames, v. 24, p. 96-98, May 1997.
- TOLEDO, J. F. F. de. Genética quantitativa das características de interesse do melhoramento da soja. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Resultados de pesquisa de soja 1989/90**. Londrina, 1993. p. 260-264. (Documentos, 58).
- WAKANKAR, S. M.; YADAV, L. N.; KELKAR, G. M. Path coefficient analysis for some characters in soybean. **JNKVV Research Journal**, Jabalpur, v. 8, n. 3/4, p. 196-201, 1974.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, p. 557-585, 1921.