

CORRELAÇÕES GENOTÍPICA, FENOTÍPICA E DE AMBIENTE E ANÁLISE DE TRILHA EM CARACTERES AVALIADOS NO COMPOSTO DE MILHO (*Zea mays*) ARQUITETURA¹

Bruno G. M. Churata²
Juan T. Ayala-Osuna²

1. INTRODUÇÃO

A correlação entre caracteres apresenta causas genéticas e ambientais. A correlação genética é devida, principalmente, ao pleiotropismo (10) e ao desequilíbrio de ligação gênica (12). O pleiotropismo é a propriedade pela qual um gene afeta mais de um caráter, de modo a causar variação simultânea nas características por ele afetadas.

O desequilíbrio de ligação gênica refere-se a genes localizados em um mesmo cromossomo, com tendência a serem transmitidos em conjunto, de acordo com a distância entre eles, podendo apresentar caráter transitório, visto que podem ser suprimidos pela recombinação gênica. Em programa de melhoramento é importante o conhecimento da associação de natureza genética entre os caracteres. Segundo FALCONER (10), a associação entre duas variáveis que pode ser observada diretamente é a correlação fenotípica.

Segundo CRUZ *et alii* (6), as correlações genotípicas estão ligadas às propriedades genéticas das populações analisadas, enquanto a natureza genotípica dos fatores que determinam os caracteres influencia tanto a magnitude quanto o sinal das correlações.

¹ Parte da tese apresentada à Universidade Estadual Paulista, pelo primeiro autor, para a obtenção do título de "Magister Scientiae".

Aceito para publicação em 12.02.1996.

² Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, Universidade Estadual Paulista - 14870.000 - Jaboticabal, S.P.

Embora a produção de grãos seja o item mais importante em um programa de melhoramento de seleção de milho, outras características merecem a atenção do melhorista quando o objetivo é a obtenção de ótimos cultivares (1). Estes mesmos autores avaliaram 147 famílias de meios-irmãos da população ESALQ-PB 1 de milho. Foram avaliados seis caracteres, sendo observada alta correlação positiva entre altura da planta e da espiga. CROSS e ZUBER (5) obtiveram correlações significativas positivas entre altura de planta e o número de folhas. GERALDI (11) observou correlação genética negativa entre a produção e o número de ramificações do pendão. Segundo ASSUNÇÃO (2), estudos de correlações genéticas e ambientais são escassos na literatura, em se tratando de milho braquítico. Entretanto, para milho de porte normal, diversos trabalhos tratam da correlação entre as várias características agronômicas importantes (4, 17, 21).

Segundo VENCOVSKY e BARRIGA (20), deve-se ressaltar que estudos de correlação entre caracteres não permitem tirar conclusões sobre relações de causa e efeito. A correlação é apenas uma medida de associação. Pela importância das relações de causa e efeito foi desenvolvido método que as investiga. Tal método, chamado de análise de trilha ("path coefficient analysis"), fornece quantidades, denominadas coeficientes de trilha, que medem a influência direta de uma variável sobre outra, independentemente das demais, no contexto de causa e efeito. CRUZ *et alii* (6) relataram que os coeficientes de trilha foram usados inicialmente por Dewey e Lu em 1959, sendo posteriormente aplicados em diversas culturas. O milho constitui excelente base para estudo de associações entre os caracteres e suas causas e efeitos, em virtude de ser uma espécie amplamente estudada.

DEBNATH e KHAN (8) relatam informações sobre herdabilidade, correlação, progresso genético para produção e outros oito caracteres em 21 genótipos de milho. Análise de trilha revelou que dias para o florescimento, altura de planta, número de grãos por fileira e peso de 1.000 grãos tiveram forte contribuição positiva para produção de grãos. DUQUE-VARGAS *et alii* (9), utilizando o delineamento I, observaram correlação genética aditiva positiva (0,84) para produção de grãos e altura de planta.

O objetivo deste trabalho é analisar a associação e os efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre a produção de espiga do Composto Arquitetura de milho, pelo estudo das correlações genotípicas e pela análise de trilha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisados os dados obtidos de 100 famílias de meios-irmãos do Composto Arquitetura de milho. O ensaio foi conduzido em delineamento de látice com três repetições em Jaboticabal, SP, em 1992. Cada parcela

experimental (0,90 x 4,5 m) possuía 25 plantas. Maiores detalhes experimentais são apresentados por CHURATA (3).

Estimaram-se as correlações segundo o método relatado por KEMPTHORNE (13), enquanto seu desdobramento em efeitos diretos e indiretos e as correlações parciais foram estimados de acordo com LI (14).

Os caracteres analisados como variáveis explicativas foram altura de espiga (AE) em metro; plantas acamadas (PA); número de espigas danificadas (ED) em porcentagem e número de espigas (NE) por parcela; e, como variável principal, produção de espigas por parcela em kg/parcela.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correlação permite ao melhorista conhecer a possibilidade de ocorrência de variações em um caráter provocado por seleção praticada em outro caráter. Assim, as correlações quantificam a relação entre os caracteres analisados na população sob seleção. As estimativas dos coeficientes de correlações genética, fenotípica e de ambiente, entre cinco caracteres avaliados neste trabalho, são apresentadas no Quadro 1. Pode-se verificar semelhança entre os coeficientes de correlações genotípica e a fenotípica para a maioria dos caracteres associados em relação à magnitude e a sinal, também relatados por CRISÓSTOMO e ZINSLY (4), RISSI e PATERNIANI (19) e ZOMIGNANI (21). Verifica-se que os coeficientes de correlações genotípicas são, em valores absolutos, superiores aos coeficientes de correlações fenotípicas, evidenciando maior contribuição dos fatores genéticos.

Em relação à produção e ao porte da planta, observa-se, no Quadro 1, que as correlações genotípicas e fenotípicas entre produção x altura de planta (0,688) e produção x altura de espiga (0,692) foram de alta magnitude e mesmo sentido, de acordo com LINDSEY *et alii* (16), QUEIROZ (17), LIMA e PATERNIANI (15), ANDRADE e MIRANDA F^o (1), RISSI e PATERNIANI (19) e ZOMIGNANI (21). Contudo, esta população apresentou baixa variância genética aditiva ($121,86 \times 10^{-4}$ e $154,64 \times 10^{-4}$) e baixo coeficiente de correlação intraclasses (19,35% e 36,59%) para caracteres altura de planta e altura de espiga, respectivamente (3). Por outro lado, apresentou o coeficiente de herdabilidade, calculado com base nas médias de famílias de 41,85% e 63,38%, segundo CHURATA (3). No milho braquítico, a exemplo do Composto Arquitetura, a variabilidade genética dos caracteres altura de planta e altura de espiga é resultado da ação de genes ou de blocos gênicos modificadores. Esses mesmos genes podem estar associados direta ou indiretamente com a produção de grãos.

Quanto a número de espigas por parcela, este caráter indica que a prolificidade está altamente correlacionada (0,704) com a produção de

QUADRO 1 - Estimativas das correlações fenotípicas (F), genotípicas (G) e de ambiente (A) entre produção de espiga (Prod.), altura de planta (AP), altura de espiga (AE), plantas acamadas (PA), número de espigas danificadas (ED) e número de espigas (NE) no Composto Arquitetura

Caract.		Prod	AP	AE	PA	ED	NE
	F	----	0,464	0,501	-0,327	-0,200	0,626
Prod.	G	----	0,688	0,692	-0,599	-0,332	0,704
	A	----	0,192	0,004	0,004	-0,091	0,571
	F		----	0,843	-0,430	-0,138	0,328
AP	G		----	1,169	-1,033	-0,311	0,714
	A		----	0,480	0,060	-0,030	0,016
	F			---	-0,372	-0,227	0,405
AE	G			---	-0,739	-0,396	0,716
	A			---	0,044	-0,092	0,062
	F				---	-0,008	-0,160
PA	G				----	0,025	-0,390
	A				----	-0,028	0,019
	F					----	-0,234
ED	G					----	-0,521
	A					----	-0,060
	F						----
NE	G						----
	A						----

espigas. REGAZZI *et alii* (18) obtiveram correlação significativa entre produção de grãos e prolificidade no Composto Dente-B. Para a grande maioria dos pares de caracteres, a correlação de ambiente foi reduzida. No entanto, a correlação ambiental alta e positiva (0,571) entre produção e número de espigas mostra que os caracteres são afetados pelas mesmas condições de ambiente e de maneira semelhante. As correlações genotípica e de ambiente apresentando o mesmo sinal indicam que as causas das variações genética e ambiental influenciam os caracteres por meio dos

mesmos mecanismos fisiológicos (10). O número de espigas por parcela apresentou correlação genotípica de alta magnitude e positiva com porte da planta (altura de planta e espiga). Estes resultados indicam que a seleção para aumentar o número de espigas por parcela e, conseqüentemente, a produção levaria ao aumento do porte da planta. O número de espigas danificadas apresentou baixa correlação com todos os caracteres. Foi observado correlação genotípica negativa (-0,521) considerável entre número de espigas danificadas e número de espigas por parcela, mostrando uma associação genética em sentido contrário entre o caráter número de espigas por parcela e número de espigas danificadas. Assim, a prolificidade pode estar associada com tolerância ao ataque da largarta da espiga.

Segundo CRUZ e REGAZZI (7), os coeficientes de correlação, apesar de quantificarem as associações em magnitude e direção, não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos. Para maior clareza nas explicações das associações entre os caracteres foram utilizadas a correlação parcial e a análise de trilha. No caso dos coeficientes de correlação parcial, este permite estudar os caracteres dois a dois, removendo a influência das outras variáveis sobre esta associação. De acordo com VENCOVSKY e BARRIGA (20), a análise de trilha possibilita uma interpretação mais clara da influência direta de uma variável sobre a outra e da interferência que outras variáveis exercem sobre esta associação.

Nas análises de trilha e das correlações parciais foi utilizada a matriz de correlações genotípicas. No caso da análise de trilha, o caráter produção de espiga por parcela foi considerado como a variável principal. Os caracteres considerados como variáveis explicativas foram altura de espiga, número de espigas danificadas e número de espigas por parcela. As variáveis explicativas analisadas neste trabalho não são caracteres chamados de componentes primários da produção. Segundo VENCOVSKY e BARRIGA (20), qualquer caráter pode ser incluído na análise, dependendo da pesquisa.

Considerando-se a similaridade das correlações de altura da planta e altura de espiga com outros caracteres e a alta correlação entre altura de planta e espiga, na análise de trilha e das correlações parciais, o caráter altura de planta foi excluído. Outro motivo para a exclusão foi a existência de correlação genética maior do que 1.

Os resultados das correlações parciais encontram-se no Quadro 2. Os caracteres número de espigas e altura de espiga apresentaram correlações genéticas simples de altas magnitudes com produção; porém, correlações parciais de baixas magnitudes. Mesmo assim, o sinal da correlação sugere a existência de uma verdadeira associação entre estes caracteres. A semelhança entre as duas correlações mostra a mesma proporção de causas genéticas associadas com produção. Assim, verifica-se que a seleção praticada, visando principalmente progênies produtivas, possibilita

modificar ou manter o porte da planta na mesma proporção que a prolificidade. É importante observar a correlação parcial desprezível entre produção x número de espigas danificadas, concordando com a correlação simples, indicando a impossibilidade de resposta correlacionada para estes dois caracteres.

QUADRO 2 - Estimativas dos coeficientes de correlação genética parcial, considerando os caracteres produção de espiga por parcela (Prod.), altura de espiga (AE), número de espiga danificada (NE) número de espiga por parcela (NE)

Caráter	Prod.	AE	ED	NE
Prod.	1,000	0,379	0,080	0,404
AE		1,000	-0,070	0,401
ED			1,000	-0,364
NE				1,000

As estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos componentes explicativos da produção de espiga por parcela são apresentadas no Quadro 3. Segundo VENCOVSKY e BARRIGA (20), esta questão é importante, já que a análise de causa e efeito tem como premissa básica a linearidade da regressão entre a variável principal e as variáveis explicativas. No caso em que as variáveis explicativas e a variável básica têm estrutura multiplicativa, transformam-se os dados para a escala logarítmica de modo a obter o modelo aditivo de regressão linear múltipla (7). As variáveis explicativas mais fortemente relacionadas com produção e maior efeito direto foram número de espigas por parcela, cuja estimativa foi de 0,704, sendo estabelecido principalmente pelo efeito direto (0,45); e altura de espiga (0,69), com efeito direto de 0,39. ZOMIGNANI (21) observou efeitos diretos com valores entre -2,08 e 0,65, passando por valores próximo de zero para o caráter altura de espiga em seis experimentos envolvendo linhagens e híbridos simples. O efeito direto da variável espiga danificada foi próximo de zero, concordando com a correlação simples e parcial. O efeito indireto negativo desta variável, via número de espigas e altura de espiga, indica que a seleção de progênies resistentes a *Helicorrepa zea* deverá ser simultânea com seleção para prolificidade e altura de espiga. De maneira geral, constata-se que os efeitos diretos têm os mesmos sinais das

correlações, porém com menor magnitude. Deve-se considerar que as componentes de cada correlação, sendo coeficiente de regressão ou função destes, podem atingir valores maiores do que 1,0 ou menores do que -1,0 (20). Considerando-se os efeitos diretos das variáveis analisadas inferiores ao efeito da variável residual (0,66), o aumento na produção não implica uma relação de causa e efeito apenas com estas variáveis. As estimativas dos coeficientes de correlações parciais ratificam as estimativas dos efeitos diretos e indiretos. Deste modo, é razoável supor que as variáveis analisadas não são os principais determinantes da produção, existindo outros a ser considerados pelos melhoristas.

QUADRO 3 - Efeitos diretos (na diagonal) e indiretos (fora da diagonal) de altura de planta (AP), número de espiga danificada (ED) e número de espiga por parcela (NE) sobre a produção de espigas no Composto Arquitetura

Caract.	AE	ED	NE	Total
AE	0,389	-0,02	0,325	0,692
ED	-0,156	0,06	-0,234	0,332
NE	0,280	-0,03	0,451	0,704

O coeficiente de determinação genotípica foi de 56,44%.

Deve-se ressaltar que, apesar de a correlação ser um caráter intrínseco às duas variáveis, sua decomposição é consequência de um manejo particular. Os resultados encontrados são interpretados dentro de uma ótica preestabelecida pelo pesquisador(6).

Observou-se neste trabalho que deve ser dado ênfase, no melhoramento de milho, aos caracteres secundários, como resistência a pragas, em razão da baixa associação destes com a produção, pois, com a seleção para os caracteres de produção, não haverá progressos indiretos para estes caracteres. A resistência da planta a pragas e doenças e ao acamamento, dentre outras características, é necessária ao bom desempenho, a longo prazo, do programa de melhoramento de milho.

4. RESUMO

Correlações entre diversos caracteres relacionados à produção de espigas foram estudadas com o objetivo de verificar as associações dessas características na planta de milho.

Altas correlações genotípicas foram observadas entre produção de

espigas com altura de espiga e número de espigas por parcela, porém os efeitos diretos e as correlações parciais mostraram baixa magnitude.

Assim, apenas o conjunto destes caracteres não é suficiente para explicar as variações na produção de espigas. O caráter número de espiga danificada apresentou correlação de baixa magnitude com a produção. Por isso, em programa de melhoramento, é importante dar ênfase também à seleção para reduzir injúria da lagarta-da-espiga (*Helicorrepa zea*).

5. SUMMARY

(GENETIC, PHENOTYPIC AND ENVIRONMENTAL CORRELATIONS AND PATH COEFFICIENT ANALYSIS OF TRAITS IN THE MAIZE (*Zea mays* L.) COMPOSITE ARQUITETURA)

Correlations among several traits related to ear yield were studied to verify their associations in maize. Significant genotypic correlations of ear yield with ear height and with number of ears, per plot, were observed but the direct effects and the partial correlations were of low magnitude showing that these traits are not primary components of ear yield since they alone were not sufficient to account for variation. The trait number of damaged ear presented a low correlation with yield, thus it is also important to emphasize selection to reduced injury caused by the corn earworm (*Helicorrepa zea*).

6. LITERATURA CITADA

1. ANDRADE, J.A.C. & MIRANDA Fº, J.B. Correlações genéticas e fenotípicas envolvendo caracteres da planta e do pendão do milho. *Relat. Ci. Inst. Genét. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, 14:5-10, 1980.
2. ASSUNÇÃO, M.S. *Variabilidade genética nos milhos braquíticos Piranão e Cimmyt e avaliação de seus híbridos crípticos*. Viçosa, UFV, 1990. 70p. (Tese M.S.).
3. CHURATA, B.G.M. *Estimativas de parâmetros genéticos no composto de milho (Zea mays L.) Arquitetura*. Jaboticabal, UNESP, 1994. 108p. (Tese M.S.).
4. CRISÓSTOMO, J. R. & ZINSLY, J. R. Estimção de parâmetros genéticos em duas populações de milho (*Zea mays* L.). *Relat. Ci. Inst. Genét. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, 11:33-37, 1977.
5. CROSS, H. Z. & ZUBER, M.S. Interrelationships among plant height, number of leaves, and flowering dates in maize. *Agron. J.*, 65:71-74, 1973.
6. CRUZ, C.D., MIRANDA, J. E. C. & COSTA, C.P. Correlações, efeitos diretos e indiretos de caracteres agrônômicos sobre a produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Brasil. Genet.*, 11:921-928, 1988.
7. CRUZ, C. D. & REGAZZI, A. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1994. 390p.

8. DEBNATH, S.C. & KHAN, M.F. Genotypic variation, covariation and path coefficient analysis in maize. *Pakistan J. Sci. Ind.*, 34:391-394, 1991. In: *Plant Breed. Abstr.*, 63:1505, 1993. (Abstract 12648).
9. DUQUE-VARGAS, J., PANDEY, S., GRANADOS., CEBALLOS, H. & KNAPP, E. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. *Crop Sci.*, 34:50-54, 1994. In: *Plant Breed. Abstr.*, 64:819, 1994. (abstract 5982).
10. FALCONER, D.S. *Introdução à genética quantitativa*. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1987. 279p.
11. GERALDI, I.O. *Estimação de parâmetros genéticos de caracteres do pendão em milho (Zea mays L.) e perspectivas de melhoramento*. Piracicaba, ESALQ, 1977. 103p. (Tese M.S.).
12. HALLAUER, A.R. & MIRANDA F^o, J.B. *Quantitative genetics in maize breeding*. Ames, Iowa State University Press, 1981. 468p.
13. KEMPTHORNE, O. *An introduction to genetic statistics*. 2.ed. New York, John Wiley, 1966. 545p.
14. LI, C.C. *First course in population genetics*. Pacific Grove, Boxwood Press, 1978. 631p.
15. LIMA, M. & PATERNIANI, E. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em progênies de meios irmãos de milho (*Zea mays* L.) ESALQ-VD-2 Mi-HSII e suas implicações com o melhoramento. *Rel. Ci. Inst. Genét. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, Piracicaba, 11:84-89, 1977.
16. LINDSEY, M.F., LONNQUIST, J. H. & GARDNER, C.O. Estimates of genetic variance in open-pollinated varieties of cornbelt corn. *Crop Sci.*, 2:105-108, 1962.
17. QUEIROZ, M.A. *Correlações genéticas e fenotípicas em progênies de meios-irmãos de milho (Zea mays L.) e suas implicações no melhoramento*. Piracicaba, ESALQ, 1969. 71p. (Tese M.S.).
18. REGAZZI, A.J., SILVA, J.C., THIÉBAUT, J.T.L., OLIVEIRA, L. M. & GALVÃO, J.P. Variância, covariância e correlações fenotípicas, genotípicas e genéticas aditivas num composto de milho (*Zea mays* L.). *Rev. Ceres*, 27:32-46, 1980.
19. RISSI, R. & PATERNIANI, E. Estimates of genetic parameters in two sub-populations of the variety of maize (*Zea mays*, L.) Piranão. *Rev. Brasil. Genét.*, 4:579-92, 1981.
20. VENCOVSKY, R. & BARRIGA, P. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto, Rev. Bras. Genét., 1992. 496p.
21. ZOMIGNANI, M.M. *Correlações e análise de coeficiente de caminho de caracteres relacionados com a produção de grãos de linhagens e híbridos simples de milho (Zea mays L.)*. Jaboticabal, UNESP, 1991. 90p. (Tese M.S.).