

Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. “Catimor”)

Liv Soares Severino¹, Ney Sussumu Sakiyama^{1*}, Antônio Alves Pereira², Glauco Vieira Miranda¹, Laércio Zambolim¹ e Ubiratan Vasconcelos Barros³

¹Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²EPAMIG, CTZM, 36571-000 Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ³Centro Experimental Elói Heringer, 36972-000, Martins Soares, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência.

RESUMO. Um ensaio de competição de linhagens de café (*Coffea arabica* L. “Catimor”) (Rubiaceae) foi conduzido com o objetivo de estimar as correlações genotípicas e as relações causa-efeito entre a produtividade de café beneficiado e outras características agronômicas. A produtividade de café beneficiado apresentou as maiores correlações com vigor vegetativo, seca de ponteiros e época de maturação. Pela análise de trilha, verificou-se que o maior efeito direto sobre a produtividade de café beneficiado foi do vigor vegetativo, com quem também apresentou a maior correlação. Houve efeito direto de seca de ponteiros sobre produtividade de café beneficiado. Apesar da alta correlação genotípica detectada entre produtividade de café beneficiado e época de maturação, estas não apresentaram relação causa-efeito. A produtividade também não foi influenciada por diâmetro da copa, altura da planta ou curvatura dos ramos.

Palavras chave: melhoramento de café, cultivares de café, correlação, análise de trilha.

ABSTRACT. Relationship of productivity to other agronomic characteristics of coffee tree (*Coffea arabica* L. “Catimor”). Coffee tree lines (*Coffea arabica* L. “Catimor”) (Rubiaceae) competition assay was performed to evaluate the correlations and the cause-effect relationships between row coffee productivity and other agronomic traits. The productivity showed the highest correlations with vegetative vigor, die-back, and ripening. It was verified, by path coefficient analysis, that vegetative vigor had the highest effect on productivity, and they also showed the highest correlation. Die-back also had direct effect on the productivity. There was no cause-effect relationship between productivity and ripening, regardless of the high correlation between them. The productivity was not affected by plant height, plant width, and branch curvature.

Key words: coffee breeding, coffee cultivars, correlation, path analysis.

Introdução

Produtividade é o principal critério de seleção de cafeeiros (Carvalho *et al.*, 1961; Srinivasan, 1982). A utilização de outras características agronômicas na avaliação do potencial produtivo de café tem sido investigada por diversos autores visando aumentar a eficiência na seleção de forma indireta. Mônaco (1960) estudou o efeito de lojas vazias sobre a produtividade e verificou que esta não foi influenciada por aquela. Correlações positivas com produtividade foram observadas com, por exemplo, diâmetro da copa (Dhaliwal, 1968; Silvarolla *et al.*, 1997), rendimento de secagem e de beneficiamento (Fazuoli, 1977; Alvarenga, 1991) e altura da copa (Walyaro e Van der Vossen, 1979). A quantificação e o conhecimento da natureza das correlações entre a produtividade e

características morfológicas podem ser úteis no processo de seleção de cafeeiros (Dhaliwal, 1968).

A correlação mede a associação de duas variáveis (Li, 1975), mas não determina a relação causa-efeito entre elas, a qual pode ser medida pela análise de trilha. A análise de trilha consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de características sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (Cruz e Regazzi, 1997). Para fins de melhoramento, é importante identificar, dentre as características de alta correlação com a variável básica, aqueles de maior efeito direto em sentido favorável à seleção, de tal forma que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente.

Este trabalho objetivou estudar correlações genotípicas entre características agronômicas da copa

de café arábica, *Coffea arábica* L. (Rubiaceae), e as relações causa-efeito com produtividade de café beneficiado por meio da análise de trilha.

Material e métodos

Um experimento de competição de linhagens composto por 23 linhagens de “Catimor” e a cultivar Catuaí Vermelho IAC-15, em Martins Soares, Estado de Minas Gerais, foi avaliado quanto à produtividade de café beneficiado, vigor vegetativo, seca de ponteiros, época de maturação, diâmetro da copa, altura da copa e curvatura dos ramos. Utilizou-se delineamento em látice com seis repetições. As parcelas foram constituídas de quatro plantas em linha, espaçadas de 0,9 m dentro da fileira e 1,8 m entre fileiras (6.170 pl/ha).

A variável produtividade de café beneficiado referiu-se aos dados acumulados dos três primeiros anos de produção (estimados em sacos de 60 kg de café beneficiado/ha). Época de maturação dos frutos, vigor vegetativo e ocorrência de seca de ponteiros foram obtidos pela média dos três primeiros anos de produção. Diâmetro da copa, altura da copa e curvatura dos ramos plagiotrópicos foram medidas no terceiro ano de produção.

Diâmetro e altura da copa foram medidos em metros. Vigor vegetativo foi avaliado em escala de notas arbitrárias de 1 a 10, em que 1 = planta depauperada e 10 = planta com vigor vegetativo máximo. Quanto à época de maturação, as plantas foram avaliadas em escala de notas arbitrárias em que 1 = maturação precoce, 2 = maturação média e 3 = maturação tardia. A seca de ponteiros por deficiência nutricional de ramos plagiotrópicos produtivos, ou simplesmente seca de ponteiros, foi avaliada em uma escala arbitrária em que nota 1 = ausência de ramos secos, nota 2 = pequena ocorrência de ramos secos; nota 3 = média ocorrência de ramos secos e nota 4 = alta ocorrência de ramos secos. A curvatura dos ramos plagiotrópicos com frutos no estágio chumbinho, denominado aqui simplesmente como curvatura dos ramos, foi avaliada no terço médio das quatro plantas da parcela, atribuindo-se nota 1 para ramos pendentes, nota 2 para semipendentes, nota 3 para ramos planos, nota 4 para ramos ligeiramente eretos e nota 5 para ramos semi-eretos. A altura e o diâmetro de copa foram medidos nas quatro plantas da parcela.

Tendo a produtividade de café beneficiado como variável básica, realizou-se a análise de trilha para as características relacionadas à morfologia e fisiologia da árvore e para as características relacionadas aos frutos e sementes, conforme modelo causal apresentado na Figura 1. Utilizou-se o coeficiente de correlação genética (r_g), dado por:

$$r_g = \frac{\hat{\sigma}_{gxy}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{gx}^2 \cdot \hat{\sigma}_{gy}^2}}$$

em que

r_g = coeficiente de correlação genotípica

$\hat{\sigma}_{gxy}$ = estimador da covariância genotípica entre os caracteres x e y

$\hat{\sigma}_{gx}^2$ e $\hat{\sigma}_{gy}^2$ = estimadores das variâncias genotípicas dos caracteres x e y

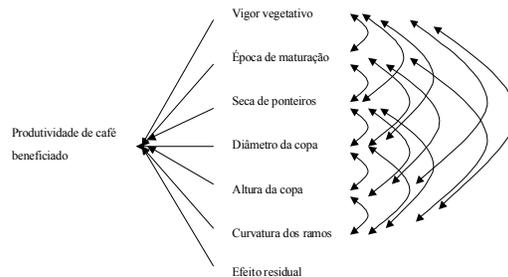


Figura 1. Diagrama causal ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos de variáveis relacionadas a características agrônomicas da copa sobre a produtividade de café beneficiado

Conforme Li (1975) e Cruz e Regazzi (1997), o cálculo dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas da análise de trilha é feito pela resolução do sistema de equações dado a seguir:

$$r_{01} = \hat{p}_{01} + \hat{p}_{02}r_{12} + \hat{p}_{0n}r_{1n}$$

$$r_{02} = \hat{p}_{01}r_{12} + \hat{p}_{02} + \hat{p}_{0n}r_{2n}$$

$$r_{0n} = \hat{p}_{01}r_{1n} + \hat{p}_{02}r_{1n} + \hat{p}_{0n}$$

em que

r_{01} , r_{02} e r_{0n} = correlação entre as variáveis explicativas e a variável básica

r_{12} , ..., r_{2n} = correlação entre as variáveis explicativas

p_{01} , p_{02} e p_{0n} = efeito direto das variáveis explicativas sobre a variável básica

$p_{02}r_{12}$ = efeito indireto da variável explicativa 2 via variável explicativa 1 sobre a variável básica

Os cálculos foram feitos utilizando-se o Programa GENES (Cruz, 1997), que também auxiliou graficamente na escolha do valor de k para a solução de problemas de multicolinearidade.

Resultados e discussão

As análises de variância das características estudadas são apresentadas na Tabela 1 e, na Tabela 2, são apresentadas as suas médias e os respectivos coeficientes de variação. A característica altura da copa não foi submetida à análise de variância e ao

teste de média, por não se enquadrar em distribuição normal pelo Teste de Lilliefors. As demais características apresentaram diferenças entre tratamentos, significativas a 1% pelo teste de F. Os coeficientes de variação foram baixos, indicando alta precisão experimental, mesmo para a produtividade de café beneficiado, com 20%.

Tabela 1. Resumo das análises de variância de sete características agronômicas de linhagens de café arábica

Característica	-Tratamentos-		-Resíduo-	
	GL	QM	GL	QM
Produtividade de café beneficiado	24	0,3395**	120	0,1313
Vigor vegetativo	24	1,1347**	120	0,1171
Incidência de seca de ponteiros	24	0,4563*	48	0,2254
Época de maturação	24	0,7022**	120	0,0415
Diâmetro da copa	24	0,2803**	120	0,0015
Altura da copa ^{nc}	-	-	-	-
Curvatura dos ramos	24	1,0979**	48	0,1851

**e *: significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente; ^{nc} : não calculado por não se enquadrar em distribuição normal pelo Teste de Lilliefors

Tabela 2. Médias e coeficientes de variação de sete características agronômicas de linhagens de café arábica

Característica	Média	Coefficiente de Variação (%)
Produtividade de café beneficiado (sc/ha)	55,02	20,0
Vigor vegetativo (escala de notas arbitrárias)	7,75	4,46
Incidência de seca de ponteiros	2,84	16,8
Época de maturação (escala de notas arbitrárias)	2,0	10,2
Diâmetro da copa (m)	1,41	6,6
Altura da copa (m)	1,62	5,3
Curvatura dos ramos (escala de notas arbitrárias)	3,6	15,5

As correlações genotípicas (r_g) entre as sete variáveis encontram-se na Tabela 3. A produtividade de café beneficiado apresentou as maiores correlações com o vigor vegetativo (0,905), a seca de ponteiros (-0,862) e época de maturação (0,704), indicando que as linhagens com maior vigor, menos seca de ponteiros e mais tardias tendem a ser mais produtivas. O vigor vegetativo, característica de maior correlação genotípica com a produtividade apresentou altas correlações com época de maturação (0,919) e seca de ponteiros (-0,861), indicando as linhagens mais tardias e/ou com menos seca de ponteiros tendem a ser mais vigorosas. A correlação para a seca de ponteiros indica que linhagens mais vigorosas ($r_g = -0,861$), mais tardias ($r_g = -0,926$) e com ramos mais eretos ($r_g = 0,687$) tendem a apresentar menos seca de ponteiros. Quanto à época de maturação, as correlações indicam que linhagens mais tardias tendem a apresentar menos seca de ponteiros ($r_g = -0,926$), maior vigor vegetativo ($r_g = 0,919$), porte mais baixo ($r_g = -0,716$) e ramos mais pendentes ($r_g = -0,701$).

Na Tabela 4, é apresentado o desdobramento por análise de trilha dos coeficientes de correlação genotípica (r_g) das características agronômicas da

copa com a produtividade de café beneficiado. Nesta análise, o maior efeito direto sobre a produtividade de café beneficiado foi o do vigor vegetativo (1,291), com quem também apresentou a maior correlação (0,905). Isto explica por que o vigor vegetativo está entre as características de uso mais frequentes para estimativa da capacidade produtiva de cafeeiros (Fazuoli, 1977; Silvarolla *et al.*, 1997).

Entre seca de ponteiros e produtividade de café beneficiado houve correlação genotípica negativa (-0,862) e efeito direto negativo (-0,248). Seca de ponteiros apresentou também efeito indireto sobre a produtividade de café beneficiado via vigor vegetativo (-1,112). Houve também efeito indireto do vigor vegetativo sobre a produtividade via seca de ponteiros (0,214). A correlação genotípica entre seca de ponteiros e vigor vegetativo foi de -0,861. Portanto, com base nos resultados de correlação e de análise de trilha, as linhagens mais vigorosas e com menos seca de ponteiros são mais produtivas.

Entre produtividade de café beneficiado e época de maturação houve correlação genotípica positiva (0,704), porém o efeito direto da época de maturação sobre esta característica foi negativo (-0,534). Segundo Cruz e Regazzi (1997), caracteres que apresentam alta correlação com a variável básica, mas com efeito direto em sentido contrário, indicam a ausência de causa e efeito, ou seja, aquele caráter auxiliar não é o principal determinante das alterações na variável básica, existindo outros que poderão proporcionar maior ganho de seleção. Portanto, a correlação genotípica detectada entre produtividade de café beneficiado e época de maturação não guardou relação causa-efeito. A correlação entre seca de ponteiros e época de maturação foi de -0,926. Uma possível explicação para estes resultados é que plantas que tiveram o período de enchimento de grãos mais curto apresentaram maior esgotamento das reservas de fotoassimilados, manifestado pela seca dos ponteiros.

A correlação genotípica entre diâmetro de copa e produtividade de café beneficiado foi praticamente nula (0,001) indicando que a produtividade não foi influenciada pelo diâmetro da copa. Entretanto, há relatos de altas correlações entre estas duas características e do uso do diâmetro de copa como critério para pré-seleção de cafeeiros ou estimativa do potencial produtivo (Dhaliwal, 1968; Silvarolla *et al.*, 1997). É importante ressaltar que os resultados aqui apresentados foram obtidos em experimento com espaçamento de 0,9 m dentro da fileira e 1,8 m entre fileiras, indicando ser possível selecionar linhagens de menor diâmetro da copa para plantios em espaçamentos adensados, sem prejuízo da produtividade, mas, por outro lado, com vantagens nas práticas culturais.

Tabela 3. Correlações genotípicas (r_g) entre características de cafeeiros arábica

	Produtividade de café benef.	Vigor vegetativo	Época de maturação	Seca de ponteiros	Diâmetro da copa	Altura da copa
Vigor vegetativo	0,905					
Época de maturação	0,704	0,919				
Seca de ponteiros	-0,862	-0,861	-0,926			
Diâmetro da copa	0,001	-0,311	-0,395	0,017		
Altura da copa	-0,267	-0,658	-0,716	0,479	0,854	
Curvatura dos ramos	-0,344	-0,513	-0,701	0,687	0,932	0,778

Tabela 4. Desdobramento por análise de trilha dos coeficientes de correlação genotípica (r_g) entre características relacionadas à morfologia e fisiologia da copa e a produtividade de café beneficiado

	r_g	Efeito direto	Variável explicativa	Efeito indireto
Vigor vegetativo			via Época de maturação	-0,490
↓			via Seca de ponteiros	0,214
Produtividade	0,905	1,291	via Diâmetro da copa	-0,023
			via Altura da copa	-0,308
			via Curvatura dos ramos	0,156
			via Vigor vegetativo	-1,112
Seca de ponteiros			via Época de maturação	0,494
↓			via Diâmetro da copa	0,001
Produtividade	-0,862	-0,248	via Altura da copa	0,224
			via Curvatura dos ramos	-0,209
			via Vigor vegetativo	1,187
Época de maturação			via Seca de ponteiros	0,230
↓			via Diâmetro da copa	-0,030
Produtividade	0,704	-0,534	via Altura da copa	-0,335
			via Curvatura dos ramos	0,213
			via Vigor vegetativo	-0,401
Diâmetro da copa			via Época de maturação	0,211
↓			via Seca de ponteiros	-0,004
Produtividade	0,001	-0,075	via Altura da copa	0,399
			via Curvatura dos ramos	-0,283
			via Vigor vegetativo	-0,850
Altura da copa			via Época de maturação	0,382
↓			via Seca de ponteiros	-0,119
Produtividade	-0,267	0,468	via Diâmetro da copa	0,064
			via Curvatura dos ramos	-0,236
			via Vigor vegetativo	-0,662
Curvatura dos ramos			via Época de maturação	0,374
↓			via Seca de ponteiros	-0,171
Produtividade	-0,344	-0,304	via Diâmetro da copa	0,070
			via Altura da copa	0,364

Coeficiente de determinação (r^2): 0,987; Efeito da variável residual (erro): 0,114; Valor de k usado na análise: 0,051

Além de baixa (-0,267), a correlação genotípica entre altura da copa e produtividade de café beneficiado apresentou-se negativa enquanto o efeito direto da altura da copa sobre a produtividade foi positivo, indicando ausência de causa e efeito entre estas duas características. Há, entretanto, relatos anteriores de correlação positiva entre altura da copa e produtividade (Walyaro e Van der Vorse, 1979). As linhagens estudadas foram selecionadas para porte baixo e produtividade alta, o que faz com que a correlação seja baixa. Observou-se também a correlação genotípica de -0,658 entre altura da copa e vigor vegetativo e efeito indireto negativo da altura da copa via vigor vegetativo sobre a produtividade.

Entre curvatura dos ramos plagiotrópicos e produtividade de café beneficiado, observou-se correlação genotípica negativa, embora baixa (-0,344), com efeito direto também negativo (-0,304). O efeito indireto mais importante de

curvatura dos ramos sobre a produtividade foi o vigor vegetativo (-0,662), indicando que linhagens de maior vigor vegetativo tendem a ser mais produtivas e, por isso, podem apresentar ramos mais pendentes.

Conclusão

De acordo com as estimativas de correlação e a análise de trilha, o vigor vegetativo e a seca de ponteiros são bons critérios de avaliação do potencial produtivo de linhagens de café arábica “Catimor”.

A época de maturação não deve ser utilizada como critério de avaliação do potencial produtivo de linhagens, pois, apesar da alta correlação positiva entre estas duas características, não houve relação causa-efeito pela análise de trilha.

A produtividade das linhagens estudadas não foi influenciada pelo diâmetro da copa, altura da planta ou curvatura dos ramos plagiotrópicos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio dos técnicos e administração das Fazendas Heringer e aos técnicos da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais e da Universidade Federal de Viçosa. Ao CNPq pela bolsa de Mestrado de Liv Soares Severino e pelas bolsas de produtividade em pesquisa de Ney Sussumu Sakiyama e Laércio Zambolim.

Referências

- ALVARENGA, A. P. *Produção e outras características de progênies de café Icatu (Coffea sp), em Viçosa-MG*. 1991. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- CARVALHO, A. *et al.* Melhoramento do cafeeiro. 22 - Resultados obtidos no ensaio de seleções regionais de Campinas. *Bragantia*, Campinas, v.20, n.30, p.711-740, 1961.
- CRUZ, C.D. Programa GENES - *Aplicativo computacional em genética e estatística*. Viçosa: Editora UFV, 1997.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Editora UFV, 1997.

DHALIWAL, T. S. Correlations between yield and morphological characters in Puerto Rican and Columbian varieties of *Coffea arabica* L. *J. Agric. Univ. Puerto Rico*, Mayaguez, v.5, p.29-37, 1968.

FAZUOLI, L. C. *Avaliação de progênies de café Mundo Novo (Coffea arabica L.)*. 1977. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1977.

LI, C. C. *Path analysis - a primer*. Pacific Grove, CA: The Boxwood Press, 1975.

MÔNACO, L. C. Efeito das lojas vazias sobre o rendimento do café Mundo Novo. *Bragantia*, Campinas, v.19, p.1-12, 1960.

SILVAROLLA, M. B. *et al.* Avaliação de progênies derivadas do Híbrido de Timor com resistência ao agente da ferrugem. *Bragantia*, Campinas, v.56, n.1, p.47-58, 1997.

SRINIVASAN, C. S. Pre-selection for yield in coffee. *Indian Journal of Genetics*, Avenuebangalore, v.42, p.15-19, 1982.

WALYARO, D. J.; VAN DER VOSSEN, H. A. M. Early determination of yield potential in arabica coffee by applying index selection. *Euphytica*, Dordrecht, v.28, p.465-472, 1979.

Received on March 06, 2002.

Accepted on June 14, 2002.