

COEFICIENTE DE CAMINHAMENTO ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS E A PRODUÇÃO DE FRUTOS EM AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea* Mart.)¹

MARIA DO SOCORRO PADILHA DE OLIVEIRA², MARGARIDA AGOSTINHO LEMOS³,
VENÉSIO FELIPE DOS SANTOS⁴, ELTON OLIVEIRA DOS SANTOS⁴

RESUMO - Estimaram-se os efeitos diretos e indiretos de seis caracteres agronômicos sobre a produção de frutos de açaizeiro, através do coeficiente de caminhamento. Para isso, foram desdobradas as correlações lineares simples existentes entre a produção de frutos (PFP) e os caracteres: número de cachos/planta (NCP), peso total do cacho (PC), peso de frutos/cacho (PF), peso médio do fruto (PMF), rendimento de frutos/cacho (RFC) e número de frutos/cacho (NFC). Foi estabelecido um diagrama causal mostrando as inter-relações entre as variáveis envolvidas, onde as setas unidirecionais indicam a influência direta e as bidirecionais, a indireta de cada variável com a produção. Constatou-se que os caracteres PMF, RFC e NFC apresentaram efeitos diretos e indiretos negativos e inexpressivos, evidenciando pouca influência na seleção de genótipos promissores, enquanto o caráter PC exibiu o maior efeito direto negativo com a produção e, também, mostrou efeitos indiretos negativos com a maioria dos caracteres, não devendo ser útil como parâmetro de seleção. O oposto foi verificado com os caracteres NCP e PF que tiveram os maiores efeitos diretos na produção e exerceram influências indiretas marcantes nas demais variáveis, tendo explicado 92,42% da produção. Portanto, pode-se considerar que os caracteres NCP e PF sejam parâmetros importantes no melhoramento dessa palmeira para frutos.

Termos para indexação: coeficiente de trilha, açaí, germoplasma, componentes principais, efeitos diretos, efeitos indiretos, seleção, melhoramento.

PATH COEFFICIENT BETWEEN AGRONOMIC CHARACTERS AND FRUIT YIELD IN AÇAÍ PALM (*Euterpe oleracea* Mart.)

ABSTRACT - Direct and indirect effects of agronomic characters were estimated on the fruit yield character of açaí palm, by means of the path coefficient methodology. Simple linear correlations between the fruit yield (PFP) and other characters: raceme number per plant (NCP), raceme weight (PC), fruit weight per raceme (PF), average fruit weight (PMF), fruit yield per raceme (RFC) and fruit number per raceme (NFC) were estimated. A causal diagram was established to show the relations among all characters studied. PMF, RFC and NFC characters presented inexpressive indirect and direct effects and showed little influence in the selection program. PC character showed the highest negative and direct effect on fruit yield character, as well as negative and indirect effects on almost all characters; it will fore there not be a useful parameter for the selection program. However, NCP and PF presented the highest direct effects on fruit yield and significant indirect effects on the rest of the characters, accounting for 92.42% of fruit yield character. It was thus concluded that NCP and PF are useful parameters for the açaí palm breeding program for high fruit yield.

Index terms: path coefficient, açaí palm, germplasm, principal components, direct effects, indirect effects, selection, breeding.

INTRODUÇÃO

Dentre os vários parâmetros de interesse ao melhorista, têm-se as correlações, bastante úteis em caracteres de herança complexa, como é o caso da produção de frutos (Goldenberg, 1968). Apesar de sua importância, elas não explicam as causas e os efeitos de cada caráter em relação a outros. Para um entendimento mais aplicado das associações entre caracteres, podem-se utilizar as análises do coeficiente de caminhamento.

O coeficiente de caminhamento é um dos métodos

utilizados para estimar os efeitos diretos e indiretos da relação entre caracteres, sendo considerado um tipo especial de análise multivariada, por trabalhar com um sistema de variáveis as quais linearmente correlacionadas e decompostas por completo, incluindo fatores básicos (causas) e suas variáveis resultantes (Wright, 1921; Wright, 1934; Li, 1975; Cruz & Regazzi, 1994). No emprego prático desse método, é indispensável a construção de um diagrama de causa e efeito (Li, 1975; Cruz & Regazzi, 1994).

Dewey & Lu (1959) foram os primeiros autores a

¹ Recebido:03/07/98. Aceito para publicação: 20/01/2000 (Trabalho 030/98). Parte da tese da primeira autora apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, para a obtenção do título de "Magister Scientiae".

² Eng^a Agr^a, MSc, Embrapa - CPATU. spadilha@cpatu.embrapa.br, Caixa Postal 48, Belém, PA.

³ Eng^a Agr^a, Dr^a, UFRPE, Caixa Postal 2071, CEP 52071-030, Recife, PE.

⁴ Eng.^o Agr^o IPA, Caixa Postal 1032. CEP 50761-000, Recife, PE.

demonstrar o uso desse coeficiente através da análise de correlação simples em estudos de inter-relacionamento de caracteres agronômicos desejáveis. Atualmente, sua aplicação em trabalhos de melhoramento genético vegetal vem tomando grande impulso, destacando-se seu uso em plantas perenes (Paiva et al., 1982; Vasconcelos, 1982; Nascimento Filho, 1988; Almeida et al., 1994). Tais estudos evidenciam a importância desse método na determinação da verdadeira natureza das inter-relações de causa e efeito entre a produção e seus componentes primários. Contudo, trabalhos dessa natureza não têm sido registrados em palmeiras, incluindo o açaizeiro, espécie perene nativa da Amazônia, que vem ganhando ascensão no mercado de frutos e, portanto, necessita de subsídios para o seu melhoramento.

Dessa forma, pode-se considerar a análise do coeficiente de caminhamento como um método adequado quando se pretende selecionar caracteres que determinem ou expliquem outro qualquer, neste caso, os da produção de frutos.

Assim sendo, utilizou-se esse método com o objetivo de estimar os efeitos diretos e indiretos dos caracteres considerados como componentes principais da produção de frutos no açaizeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Correlações lineares simples foram obtidas entre seis caracteres vegetativos e dez de produção de frutos, em 100 plantas de polinização livre de açaizeiro, pertencentes à coleção de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental, todas em plena produção (Oliveira, 1995; Oliveira et al., 1999). Desse total, constatou-se que seis caracteres produtivos se apresentaram correlacionados ao caráter produção de frutos por planta (Oliveira et al., 1999).

Para realizar uma interpretação pormenorizada das correlações obtidas entre esses caracteres, foram desdobrados através do coeficiente de caminhamento, levando em consideração seus efeitos diretos e indiretos, sendo eles: o número de cachos/planta (NCP); o peso do cacho (PC); o peso de frutos/cacho (PF); o peso médio do fruto (PMF); o rendimento de frutos/cacho (RFC) e o número de frutos/cacho (NFC).

Para tanto, foi estabelecido um diagrama causal, mostrando as inter-relações entre as variáveis envolvidas (Fig. 1). O diagrama foi construído baseado na metodologia descrita por Almeida (1991); Nascimento Filho et al. (1993) e Cruz & Regazzi (1994).

No diagrama, as setas unidirecionais indicam a influência direta de cada variável explicativa sobre a produção de frutos/planta (PFP), cuja magnitude e direção foram fornecidas pelos coeficientes de caminhamento, simbolizados por P_{iy} ($i=1,2,3,4,5,6$), enquanto as setas bidirecionais representam o efeito indireto sobre a variável básica, sendo a intensidade e o sentido fornecidos pelas correlações entre esses componentes (r_{ij}) obtidas pelo método de Pearson. A variável 7, não correlacionada com as demais, mostra o fator residual, permitindo a completa determinação dos efeitos.

As correlações entre a produção dos frutos/planta e cada um dos componentes foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos através da resolução do sistema de equações

desenvolvidas pela matriz (6 x 6), conforme Nascimento Filho (1988), e apresentado a seguir:

$$\begin{array}{l}
 r_{1y} \\
 r_{2y} \\
 r_{3y} \\
 r_{4y} \\
 r_{5y} \\
 r_{6y}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \left| \begin{array}{cccccc}
 1 & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} & r_{16} \\
 r_{21} & 1 & r_{23} & r_{24} & r_{25} & r_{26} \\
 r_{31} & r_{32} & 1 & r_{34} & r_{35} & r_{36} \\
 r_{41} & r_{42} & r_{43} & 1 & r_{45} & r_{46} \\
 r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & 1 & r_{56} \\
 r_{61} & r_{62} & r_{63} & r_{64} & r_{65} & 1
 \end{array} \right|
 \begin{array}{c}
 P_{1y} \\
 P_{2y} \\
 P_{3y} \\
 P_{4y} \\
 P_{5y} \\
 P_{6y}
 \end{array}
 \end{array}$$

$$r_{1y} = P_{1y} + r_{12}P_{2y} + r_{13}P_{3y} + r_{14}P_{4y} + r_{15}P_{5y} + r_{16}P_{6y}$$

$$r_{2y} = r_{21}P_{1y} + P_{2y} + r_{23}P_{3y} + r_{24}P_{4y} + r_{25}P_{5y} + r_{26}P_{6y}$$

$$r_{3y} = r_{31}P_{1y} + r_{32}P_{2y} + P_{3y} + r_{34}P_{4y} + r_{35}P_{5y} + r_{36}P_{6y}$$

$$r_{4y} = r_{41}P_{1y} + r_{42}P_{2y} + r_{43}P_{3y} + P_{4y} + r_{45}P_{5y} + r_{46}P_{6y}$$

$$r_{5y} = r_{51}P_{1y} + r_{52}P_{2y} + r_{53}P_{3y} + r_{54}P_{4y} + P_{5y} + r_{56}P_{6y}$$

$$r_{6y} = r_{61}P_{1y} + r_{62}P_{2y} + r_{63}P_{3y} + r_{64}P_{4y} + r_{65}P_{5y} + P_{6y}$$

Com os efeitos diretos e indiretos, incluindo o efeito residual (p_{7y}), obteve-se a equação de determinação total (Li, 1975), representada a seguir, para estimar quanto da variação do caráter principal foi devido aos efeitos conjuntos dos seis componentes da produção:

$$\begin{aligned}
 1 = & p_{7y}^2 + p_{1y}^2 + p_{2y}^2 + p_{3y}^2 + p_{4y}^2 + p_{5y}^2 + p_{6y}^2 + 2 p_{1y} r_{12} p_{2y} + 2 p_{1y} \\
 & r_{13} p_{3y} + 2 p_{1y} r_{14} p_{4y} + 2 p_{1y} r_{15} p_{5y} + 2 p_{1y} r_{16} p_{6y} + 2 p_{2y} r_{23} p_{3y} + 2 p_{2y} \\
 & r_{24} p_{4y} + 2 p_{2y} r_{25} p_{5y} + 2 p_{2y} r_{26} p_{6y} + 2 p_{3y} r_{34} p_{4y} + 2 p_{3y} r_{35} p_{5y} + 2 p_{3y} \\
 & r_{36} p_{6y} + 2 p_{4y} r_{45} p_{5y} + 2 p_{4y} r_{46} p_{6y} + 2 p_{5y} r_{56} p_{6y}
 \end{aligned}$$

sendo:

$$p_{1y}^2 + p_{2y}^2 + \dots + 2 p_{5y} r_{56} P_{6y} = R_{Y(1,2,3,4,5,6)}^2$$

onde:

$R_{Y(1,2,3,4,5,6)}^2$ é o coeficiente de determinação do coeficiente de caminhamento ou de maneira equivalente ao coeficiente de regressão múltipla, tendo como variável dependente a produção de frutos/planta e como variáveis independentes as seis características explicativas.

O efeito residual (p_{7y}^2), não explicado pelos componentes primários da produção, foi calculado pela seguinte fórmula:

$$P_{7y}^2 = [1 - R_{Y(1,2,3,4,5,6)}^2] \text{ ou } p_{7y} = [1 - R_{Y(1,2,3,4,5,6)}^2]^{1/2}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos diretos e indiretos dos seis caracteres agrônômicos na produção de frutos de açaizeiro e seus respectivos percentuais constam nas Tabelas 1 e 2.

Como se pode verificar na Tabela 1, o fator causal número de cachos/planta (NCP) apresentou efeito direto de sinal e magnitude semelhante à correlação obtida entre este caráter e a produção de frutos (PF), explicando quase que exclusivamente a associação existente, ou seja, em 97,80% (Tabela 2). Por outro lado, todos os efeitos indiretos deste caráter foram de baixíssimas magnitudes, sendo positivos com o peso do cacho (PC), peso de frutos/cacho (PF) e número de frutos/cacho (NFC) e negativos com os demais. Pelo fato de a correlação e, principalmente, de o efeito direto do caráter em questão terem mostrado fortes magnitudes com a produção de frutos, fornece indícios de que, através da seleção direta deste caráter, seja possível obter açaizeiros mais produtivos.

Com relação ao caráter peso do cacho (PC), constatou-se efeito direto negativo e de média magnitude (-0,50902) com a produção, mostrando que a associação encontrada entre eles foi ocasionada pelos efeitos indiretos dos demais caracteres (Tabela 1). Entretanto, o único caráter que contribuiu para essa associação foi o peso de frutos/cacho (PF), sendo responsável

por 270%, pois os demais tiveram efeitos negativos e de baixas a baixíssimas magnitudes (Tabela 2). Vale ressaltar que o caráter PC apresentou a maior influência negativa com a produção de frutos por planta (-125,23%), tendo exercido, também, efeitos indiretos negativos com a maioria dos caracteres. Como Oliveira et al. (1999) já haviam constatado correlação de média magnitude entre este caráter e a produção de frutos por planta (PF), leva a crer que o peso do cacho não deva ser utilizado como parâmetro de seleção de plantas promissoras para frutos.

Quanto ao caráter peso de frutos/cacho (PF), foi observado que ele apresentou efeito direto positivo e de pronunciada magnitude com a produção de frutos (1,0930), exercendo participação de 251,85% na correlação encontrada (Tabela 2), sendo, portanto, o maior responsável por esta relação. Este caráter também mostrou fortes efeitos indiretos em quase todos os caracteres. Esses resultados tornam evidente que PF possa ser um parâmetro de grande importância no melhoramento dessa palmeira.

No que diz respeito aos caracteres peso médio do fruto (PMF), rendimento do fruto/cacho (RFC) e número de frutos/cacho (NFC), foi verificado que eles tiveram efeitos diretos negativos e de baixas magnitudes, alcançando -0,0219, -0,0591 e -0,1538, respectivamente (Tabela 1). Portanto, as correlações obtidas entre esses caracteres e a produção de frutos foram

TABELA 1 - Estimativas dos efeitos diretos (na diagonal) e indiretos (fora da diagonal) de seis caracteres agrônômicos sobre a produção de frutos em açaizeiros. Belém, PA, 1993/1995

Caráter	NCP	PC	PF	PMF	RFC	NFC	TOTAL (r)
NCP	<u>0,8413</u>	0,0061	0,0151	-0,0044	-0,0079	0,0092	0,8602
PC	-0,0103	<u>-0,5002</u>	1,0784	-0,0049	-0,0313	-0,1323	0,3994
PF	0,0122	-0,4935	<u>1,0930</u>	-0,0046	-0,0373	-0,1359	0,4340
PMF	0,1675	-0,1130	0,2283	<u>-0,0219</u>	-0,0153	0,0325	0,2791
RFC	0,0959	-0,2268	0,5907	-0,0049	<u>-0,0591</u>	-0,0750	0,3108
NFC	-0,0503	-0,4301	0,9653	0,0048	-0,0377	<u>-0,1538</u>	0,3022

NCP: Número de cachos/planta; PC: peso do cacho; PF: peso de frutos/cacho; PMF: peso médio do fruto; RFC: rendimento de frutos/cacho; NFC: número de frutos/cacho; r: coeficiente de correlação.

TABELA 2 - Percentagens de participação dos efeitos diretos (na diagonal) e indiretos (fora da diagonal) de seis caracteres agrônômicos sobre a produção de fruto em açaizeiros. Belém-PA, 1993/1995

Caráter	NCP	PC	PF	PMF	RFC	NFC	TOTAL (r)
NCP	<u>97,80</u>	0,71	1,84	-0,51	-0,92	1,07	100,00
PC	-2,57	<u>-125,23</u>	270,00	-1,24	-7,84	-33,12	100,00
PF	2,81	-113,70	<u>251,85</u>	-1,05	-8,60	-31,31	100,00
PMF	60,01	-40,50	81,81	<u>-7,84</u>	-5,49	12,01	100,00
RFC	30,86	-72,98	190,05	-1,56	<u>-22,22</u>	-24,14	100,00
NFC	-16,65	-142,32	319,44	1,58	-11,15	<u>-50,91</u>	100,00

NCP: Número de cachos/planta; PC: peso do cacho; PF: peso de frutos/cacho; PMF: peso médio do fruto; RFC: rendimento de frutos/cacho; NFC: número de frutos/cacho; r: coeficiente de correlação.

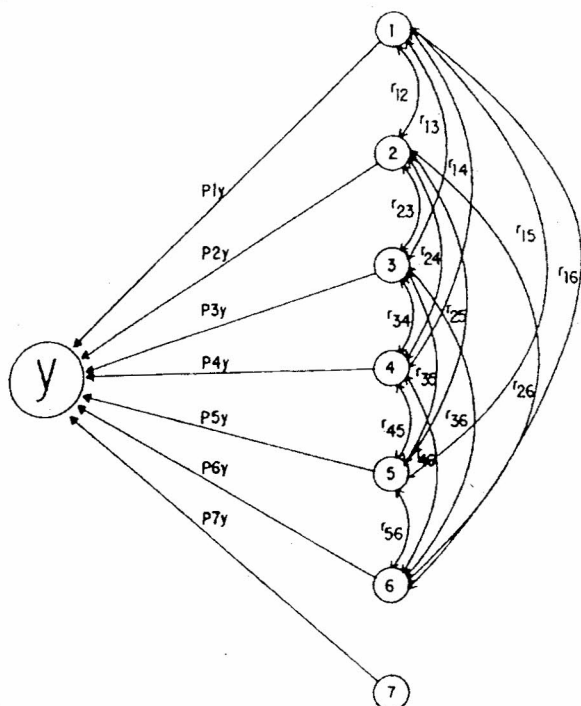


FIGURA 1 - Diagrama causal entre seis caracteres agronômicos e a produção de frutos (PF) em açaizeiros. Belém, PA, 1993/1995

ocasionadas pelos efeitos indiretos do caráter PF, o qual contribuiu com 81,81%, 190,05% e 319,44% com esses caracteres, respectivamente (Tabela 2). Como as correlações e os efeitos diretos desses caracteres apresentaram sinais contrários e baixas magnitudes e, também, por eles terem exercido efeitos indiretos negativos e de fracas magnitudes com a maioria dos componentes causais, acredita-se que eles não tenham nenhum valor prático na seleção de genótipos superiores.

Embora os caracteres PMF, RFC e NFC tenham se mostrado associados à produção de frutos por planta, tais relações foram de fracas a médias magnitudes (Oliveira et al., 1999), o que deve explicar a obtenção dos valores inexpressivos detectados para efeitos diretos e indiretos entre esses caracteres, uma vez que o coeficiente de caminhamento permite desdobrar as correlações obtidas entre os caracteres. Dessa forma, os resultados aqui obtidos devem ser desconsiderados em trabalhos de seleção para a produção de frutos em açaizeiros. O oposto foi verificado para os caracteres NCP e PF, que foram basicamente os responsáveis por esta produção.

Pelo fato de a estimativa do coeficiente de determinação ter apresentado valor fortíssimo, ocasionou efeito direto fraco para o componente residual (0,2752). Isso demonstra que as variáveis NCP e PF explicaram em 92,42% a produção de frutos, através de seus efeitos diretos e indiretos.

Os resultados apresentados reforçam a importância de se conhecer a causa e o efeito nas correlações, possibilitando uma interpretação mais clara da relação existente entre duas variáveis, bem como a interferência que outras podem exercer sobre esta associação (Vencovsky e Barriga, 1992). Para esses autores, os coeficientes de caminhamento obtidos de correlações lineares simples equivalem às fenotípicas, sendo, portanto, bastante informativas, principalmente no caso do açaizeiro, onde não há pesquisas que possam apoiar ou contestar tais resultados.

- Variáveis explicativas:

1. número de cachos por planta (NCP);
 2. peso do cacho (PC);
 3. peso de frutos por cacho (PFC);
 4. peso médio do fruto (PMF);
 5. rendimento de frutos por cacho (RFC);
 6. número de frutos por cacho (NFC):
- Variável básica:
y. produção de frutos por planta (PF).
- Variável residual;
7. variável residual não correlacionada.

CONCLUSÕES

O elevado coeficiente de correlação obtido entre os caracteres número de cachos/planta (NCP) e a produção de frutos (PF) é de alta confiabilidade, sendo confirmado pelo efeito direto positivo e de forte magnitude, devendo ser o NCP um indicador direto da produção de frutos no açaizeiro;

O caráter peso de frutos/cacho (PF), associado medianamente com a produção de frutos, demonstra os maiores efeitos direto e indireto com essa produção e deve ser também, um caráter de grande importância no melhoramento dessa palmeira;

Os caracteres peso total do cacho, peso médio do fruto, rendimentos de frutos por cacho e números de frutos por cacho exercem efeitos diretos e indiretos negativos e de baixas magnitudes com a produção de frutos por planta e, portanto, devem ser desconsiderados na seleção de açaizeiros promissores para frutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C.M.V.C. de, VENCOVSKY, R, CRUZ, C.D, BARDTLEY, B.G.D. Path analysis of yield components of cacao hybrids (*Theobroma cacao* L.). *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 17, n. 2, p. 181-186, 1994.
- CRUZ, C.D, REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994, cap. 3 p. 71-95: Relação entre caracteres.
- DEWEI, D.R., LU, K.H. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested.-Wheat grass seed

- production. *Agronomy Journal*, Madison, v. 51, p. 515-518, 1959.
- GOLDENBERG, J.B. El complejo de la correlacion en el mejoramento genetico de las plantas. *Fitotecnia Latinoamericana*, San José, v.5, p. 1-8, 1968.
- Li, C.C. *Path analysis-a primer*. California: Box Wood Press, 1975. 346p.
- MIRANDA, J.E.C. de, CRUZ, C.D, PEREIRA, A.S. Análise de trilha e diversidade genética de cultivares e clones de batata doce. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 11, n. 4, p. 881-981, 1988.
- NASCIMENTO FILHO, J. F. do. **Coeficientes de caminhamento entre caracteres da parte aérea e do sistema radicular em guaraná (*Paullinia cupana* Var. *sorbilis*)**. Piracicaba, 1988. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988.
- NASCIMENTO FILHO, J. F. do; ANDO, A.; CRUZ, C. D. Análise de caminhamento em mudas de guaraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28. n. 4, p. 447-452, 1993.
- OLIVEIRA, M. do S.P. de. **Avaliação do modo de reprodução e de caracteres quantitativos em 20 acessos de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart., *Arecaceae*) em Belém-PA**. Recife, 1995. 145p. Dissertação (Mestrado em Botânica). UFRPE, 1995.
- OLIVEIRA, M. do S.P. de, LEMOS, M.A., SANTOS, E. O. dos, SANTOS, V.F dos. Correlações fenotípicas entre caracteres vegetativos e de produção de frutos em açaizeiros (*Euterpe oleracea* Mart.), *Revista Brasileira de Fruticultura*, (no prelo).
- PAIVA, J.R., ROSSETI, A.G., GONÇALVES, P.S. Uso do coeficiente de caminhamento no melhoramento da seringueira. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 17. n. 3, p. 433-440, 1982.
- VASCONCELOS, M.E. da C. **Análise do coeficiente de caminhamento ("path coefficient") e estimativas de parâmetros genéticos em clones de seringueiras (*Hevea spp*)**. Piracicaba, 1982. 77p. Dissertação (Mestrado em estatística e experimentação) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- VENCOVSKY, R, BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: R.B.G, 1992. p. 335-448: Associação entre caracteres.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. *Journal Agricultural Reseach*, Washington, v. 20, p. 557-585, 1921.