

ANÁLISE DE TRILHA EM CARACTERES DE PROGÊNIES DE URUCUEIROS (*Bixa orellana* L.)¹

João Gomes da Costa²
Flávio Araújo Pimentel²
Francisco José da Silva Ledo²

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do urucueiro destina-se à extração de corantes ou pigmentos extraídos do arilo das sementes, denominados bixina ou norbixina (1, 7, 10) e utilizados, principalmente, nas indústrias alimentícias e de cosméticos.

Em geral, as áreas mais extensas de plantios de urucum apresentam grande variabilidade genética, causada pela polinização cruzada entre os diversos indivíduos, dando origem a uma infinidade de material com características próprias, completamente diferentes das plantas que produziram as sementes utilizadas nos plantios.

As características agronômicas consideradas essenciais nos trabalhos de melhoramento genético do urucum são: tipo, origem, produção, porte, número de cachos por planta (número de inflorescências por planta), número de frutos por cacho (número de cápsulas por inflorescência), número de semente por fruto (número de sementes por cápsula), densidade de sementes, uniformidade de maturação, época de produção e teor de bixina (13).

O conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento vegetal, principalmente se a seleção em um dos caracteres apresenta dificuldades, pela baixa herdabilidade e, ou, por problemas na medição e identificação. Desta forma, a seleção correlacionada com um caráter de alta herdabilidade e de fácil mensuração pode ser mais conveniente e conduzir a progressos mais

¹ Aceito para publicação em 13.07.1998.

² EMBRAPA-Acre, Cx. P. 392, 69908-970, Rio Branco, Acre.

rápidos no melhoramento (3). Entretanto, em certos casos, os coeficientes de correlações simples podem resultar em equívocos na estratégia de seleção, pois uma correlação alta entre duas variáveis pode ser resultado de uma terceira ou de um grupo de variáveis sobre as duas variáveis em questão (3). Portanto, estudos referentes ao desdobramento dessas correlações, em efeitos diretos e indiretos, são fundamentais principalmente quando as informações sobre causa e efeito são desejáveis.

A análise de trilha, cuja teoria inicial foi proposta por WRIGHT (23, 24), consiste no desdobramento do coeficiente de correlação em efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (3, 5, 11). Essa técnica tem sido utilizada por melhoristas em várias culturas, como arroz (17, 21), seringueira (15), caupi (14), guandu (18), soja (19), guaraná (12), milho (2). Em urucum foi utilizada por GASPERI e GASPERI (9), na Venezuela.

Pesquisas com urucum são necessárias, especialmente nas áreas de melhoramento genético e citogenética, para melhor conhecimento e utilização dessa espécie, bem como para incrementar sua produtividade e a qualidade dos grãos obtidos (20).

Este trabalho teve por objetivo desdobrar as correlações fenotípicas, por meio da análise de trilha, em efeitos diretos e indiretos entre caracteres de urucueiros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Vinte e quatro progênies de urucueiros foram avaliadas em 1991 e 1992 no campo experimental da Embrapa Acre. Foi realizada uma análise descritiva preliminar, com o objetivo de caracterizar as progênies. Além da média, valores máximo e mínimo, desvio-padrão e coeficiente de variação, calcularam-se as estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica entre os caracteres. Estes coeficientes foram utilizados para a realização da análise de trilha. Os dados foram obtidos de ensaio conduzido em parcela única sem repetição, com sete plantas representando cada progênie.

Adotou-se um diagrama de causa-efeito, mostrando as relações entre a variável principal e as variáveis explicativas, como também suas inter-relações. Procurou-se identificar as variáveis explicativas para produção de sementes por planta (PRO) (Figura 1).

Foram utilizadas como variáveis explicativas da produção de sementes por planta (PRO) os seguintes caracteres: número de inflorescências por planta (NIP), número de cápsulas por inflorescência (NCI), número de sementes por cápsula (NSC), comprimento dos espinhos (pêlos) da cápsula (CPC) e teor de bixina (BIX).

A variável ε , não correlacionada, mas incluída no diagrama, representa os fatores residuais, o que permite completa determinação dos efeitos.

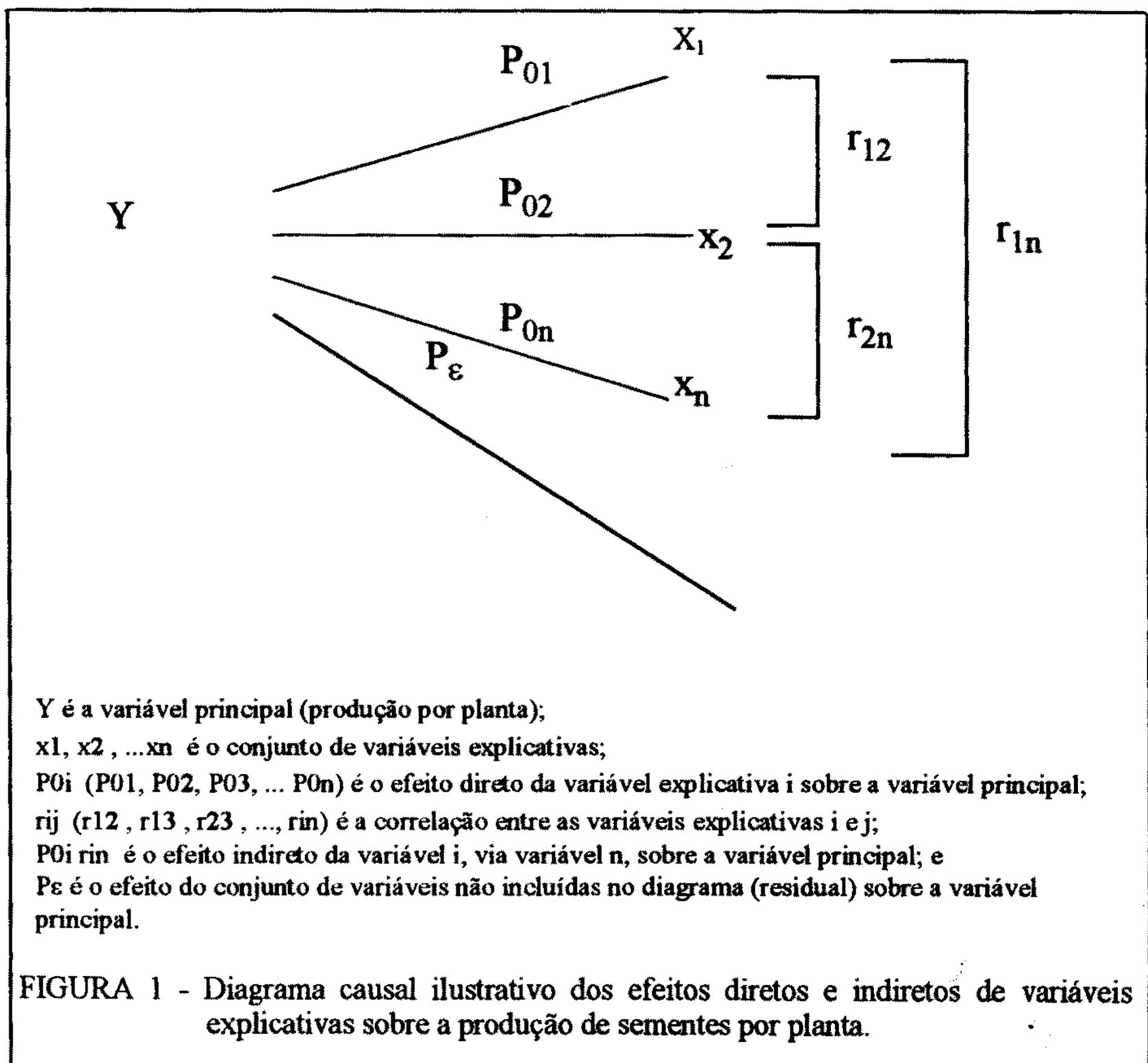
Após o estabelecimento das equações básicas da análise de trilha, a resolução na forma matricial foi dada pelo sistema de equações normais $X'X\beta = X'Y$, em que $X'X$ é uma matriz não-singular das correlações entre as variáveis explicativas; β é um vetor-coluna de coeficientes de trilha; e $X'Y$ é um vetor-coluna das correlações entre as variáveis principal e explicativas.

A solução de mínimos quadrados desse sistema é dada por $\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y$ (3).

O coeficiente de determinação para a análise das variáveis explicativas sobre a variável principal é dado por $R^2_{0.123\dots n} = \hat{p}_{01}r_{01} + \hat{p}_{02}r_{02} + \hat{p}_{03}r_{03} + \dots + \hat{p}_{0n}r_{0n}$. Já o efeito residual é

expresso por $p_\varepsilon = \sqrt{1 - R^2_{0.123\dots n}}$.

Para a realização das análises foi utilizado o programa GENES (4).



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais estimativas descritivas dos caracteres avaliados encontram-se no Quadro 1. Verifica-se, em geral, que existe variabilidade no material para os caracteres estudados, principalmente para NIP e PRO que apresentaram coeficientes de variação de 57,52% e 56,33%, respectivamente. Com relação a teor de bixina e produção de sementes por planta (caracteres importantes economicamente), constata-se que as progênies apresentaram média de 2,99% com variação de 1,74 a 4,27%. Resultados semelhantes foram obtidos por ENRIQUEZ e ARCE (6). Entretanto, FALESI e KATO (8) conseguiram selecionar material com teores variando entre 4,66% e 6,90%.

| QUADRO 1 - Estimativas da média, valores máximo (máx.) e mínimo (min.), desvio-padrão (D.P.) e coeficiente de variação (C.V.) de seis caracteres de progênies de urucueiros em Rio Branco, Acre. | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|----------|
| Caracteres | Média | Máx. | Min. | D.P. | C.V. (%) |
| NIP | 85 | 215 | 11 | 48,67 | 57,52 |
| NCI | 10 | 17 | 7 | 2,92 | 28,15 |
| NSC | 39 | 54 | 29 | 5,54 | 14,08 |
| CPC | 0,77 | 0,41 | 1,06 | 0,17 | 22,65 |
| BLX | 299 | 4,27 | 1,74 | 0,62 | 20,65 |
| PRO | 8,38 | 18,20 | 6,81 | 4,72 | 56,33 |

NIP=número de inflorescências/planta; NCI=número de cápsulas/inflorescência; NSC=número de sementes/cápsula; CPC=comprimento dos pêlos da cápsula e BLX=teor de bixina

O desdobramento dos coeficientes das correlações fenotípicas entre produção por planta e as variáveis explicativas encontra-se no Quadro 2. A influência das variáveis explicativas, número de inflorescências por planta, número de cápsulas por inflorescência e comprimento dos pêlos da cápsula sobre a produção por planta, expressa pelos coeficientes de trilha (efeitos diretos) de mesmo sinal e magnitude que os apresentados pelos coeficientes de correlação, indicam essas variáveis como determinantes do comportamento da variável básica. Constata-se que o caráter número de cápsulas por inflorescência (NCI) teve contribuição indireta relevante sobre a correlação entre número de inflorescência por planta e a produção, evidenciando que aquele caráter tem importância fundamental sobre a produção. Portanto, número de cápsulas por inflorescência deve ser levado em consideração em programas de melhoramento que visem o aumento de produção.

O coeficiente de correlação entre teor de bixina e produção de sementes foi negligível (-0,0245), mas o efeito direto foi positivo e alto (0,4911), indicando que a falta de correlação foi proporcionada pelos efeitos indiretos dos caracteres número de inflorescências por planta, número de sementes e comprimento dos pêlos da cápsula, com maior efeito deste último, que superou 5,5 vezes a magnitude do efeito residual. Nesse caso, os fatores causais indiretos também deverão merecer atenção na seleção, conforme recomendam VENCovsky e BARRIGA (22).

O caráter comprimento dos pêlos da cápsula apresentou correlação (negativa) semelhante em sinal e magnitude com o efeito direto, mostrando relação inversa sobre produção. Isto provavelmente se explica pelo fato de que os pêlos da cápsula estariam competindo por nutrientes com as sementes. Estudos com a cultura do urucum englobando estes aspectos entre os diversos caracteres são escassos. PINHEIRO e ALMEIDA (16) ressaltam que não se sabe exatamente se características do urucum como cor de frutos, porte, forma de frutos, espinhos etc. são devidas a variações dentro ou entre variedades, necessitando, assim, de pesquisas nas áreas da quimiotaxonomia, citogenética e das isoenzimas. Os resultados obtidos sugerem que cápsulas com pêlos longos devem ser evitadas no melhoramento genético para aumento de produção por planta. Além da relação inversa com a produção, o comprimento dos pêlos da cápsula contribuiu de forma indireta para que a correlação entre teor de bixina e produção fosse desprezível.

A não-significância da correlação entre número de sementes e produção é provocada pelos efeitos indiretos do teor de bixina, principalmente. Entretanto, número de sementes devido ao seu efeito direto (0,4897) não deve ser desconsiderado nos programas de melhoramento.

A situação mais favorável ao melhoramento é observada com o caráter número de cápsulas por inflorescência, que apresentou valores relativamente altos e positivos na correlação e no efeito direto, coincidindo com o observado por GÁSPERI e GÁSPERI (9).

O coeficiente de determinação total de 99,84% indica que as variáveis utilizadas explicam satisfatoriamente o comportamento da produção.

Os resultados obtidos pelo coeficiente de correlação simples entre produção de sementes por planta e teor de bixina evidenciam a importância da análise de trilha sobre o estudo das correlações. Neste caso, a correlação simples foi desprezível, mas o efeito direto foi elevado. Assim, foi possível visualizar as inter-relações dos caracteres, uma vez que a correlação simples mede apenas a associação mútua entre duas variáveis, onde permanecem embutidas as causas e efeitos responsáveis por tal correlação.

QUADRO 2 - Desdobramento das correlações fenotípicas em efeitos diretos e indiretos de variáveis explicativas sobre a produção/planta no urucum

| Causa e Efeito | Efeito direto | Efeito indireto | Correlação |
|---------------------------------------------|---------------|-----------------|------------|
| NIP x PRO | | | |
| Efeito direto | 0,3938 | | |
| Efeito indireto via NCI | | 0,2058 | |
| Efeito indireto via NSC | | 0,0406 | |
| Efeito indireto via CPC | | 0,0934 | |
| Efeito indireto via BIX | | -0,1837 | |
| | | | 0,5499* |
| NCI x PRO | | | |
| Efeito direto | 0,4535 | | |
| Efeito indireto via NIP | | 0,1787 | |
| Efeito indireto via NSC | | -0,0275 | |
| Efeito indireto via CPC | | 0,0747 | |
| Efeito indireto via BIX | | -0,0182 | |
| | | | 0,6612* |
| NSC x PRO | | | |
| Efeito direto | 0,4897 | | |
| Efeito indireto via NIP | | 0,0327 | |
| Efeito indireto via NCI | | -0,0255 | |
| Efeito indireto via CPC | | -0,0276 | |
| Efeito indireto via BIX | | -0,1219 | |
| | | | 0,3474 |
| CPC x PRO | | | |
| Efeito direto | -0,6162 | | |
| Efeito indireto via NIP | | -0,0596 | |
| Efeito indireto via NCI | | -0,0550 | |
| Efeito indireto via NSC | | 0,0219 | |
| Efeito indireto via BIX | | 0,1833 | |
| | | | -0,5256* |
| BIX x PRO | | | |
| Efeito direto | 0,4911 | | |
| Efeito indireto via NIP | | -0,1473 | |
| Efeito indireto via NCI | | -0,0168 | |
| Efeito indireto via NSC | | -0,1215 | |
| Efeito indireto via CPC | | -0,2300 | |
| | | | -0,0245 |
| Coeficiente de determinação (R^2) | | 0,9984 | |
| Efeito da variável residual ($P\epsilon$) | | 0,0400 | |
| Colinearidade | | Fraca | |

Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

NIP=número de inflorescências/planta; NCI=número de cápsulas/inflorescência; NSC=número de sementes/cápsula; CPC=comprimento dos pêlos da cápsula; e BIX=teor de bixina

4. CONCLUSÕES

1) As variáveis utilizadas foram suficientes para explicar as variações na produção de sementes por planta.

2) Número de cápsulas por inflorescência deve ser considerado prioritário em programas de melhoramento de urucueiros que visem obter genótipos mais produtivos.

3) A baixa correlação apresentada entre teor de bixina e produção por planta deve-se aos efeitos indiretos via número de inflorescências, número de sementes e comprimento dos pêlos da cápsula.

5. RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito das inter-relações de cinco caracteres sobre a produção de sementes de urucum. Utilizaram-se os dados de avaliações realizadas em 24 progênies durante 1991 e 1992, em Rio Branco, Acre. A análise de trilha foi utilizada para desdobrar os coeficientes de correlação fenotípica em efeitos diretos e indiretos. Os resultados mostraram que as variáveis utilizadas explicaram satisfatoriamente a produção de sementes por planta e que o caráter número de cápsulas por inflorescência deve ser considerado como prioritário em programas de melhoramento de urucum que visem obter genótipos mais produtivos, devido aos valores relativamente altos e positivos na correlação e no efeito direto sobre a produção por planta. Verificou-se, também, que a baixa correlação entre teor de bixina e produção por planta foi devido ao efeito indireto dos caracteres número de inflorescência por planta, número de sementes e comprimento dos pêlos das cápsulas.

6. SUMMARY

(PATH-COEFFICIENT ANALYSIS IN CHARACTERS OF ANNATTO (*Bixa orellana* L.) PROGENIES)

This work was developed to study the effect of the interrelationships among five characters on *Bixa orellana* seed production. Data of 1991/1992 evaluations carried out in 24 progenies in Rio Branco, Acre state, were used. A path-coefficient analysis was performed to determine the phenotypic correlation coefficients in direct and indirect effects. The results showed that the variables used satisfactorily explained seed production per plant and that number of capsules per inflorescence must be a priority in annatto improvement programs aiming at more productive genotypes, due to the relatively high and positive values in correlation and

direct effect on yield per plant. The low correlation between bixin content and yield per plant was due to an indirect effect of the characters' number of inflorescence per plant, number of seeds and fruit hairiness.

7. LITERATURA CITADA

1. CARVALHO, P.R.N. & HEIN, M. Urucum - Uma fonte de corante natural. *Coletânea ITAL*, 19(1): 25-33, 1989.
2. CHURATA, B.G.M. & AYALA-OSUNA, J.T. Correlações genotípica, fenotípica e de ambiente e análise de trilha em caracteres avaliados no composto de milho (*Zea mays* L.) Arquitetura. *Revista Ceres*, 43: 628- 636, 1996.
3. CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, UFV, Imp. Univ., 1994. 390p.
4. CRUZ, C.D. *Programa GENES; aplicativo computacional em genética e estatística*. Viçosa, UFV, Imp. Univer., 1997. 442p.
5. DEWEY, D.R. & LU, K.H. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. *Agronomy Journal*, 51: 515-518, 1959.
6. ENRIQUEZ, G.A. & ARCE, J. Caracterizacion y evaluacion de algunos introducciones de achiote en Turrialba, Costa Rica. In: SEMINÁRIO DE CORANTES NATURAIS PARA ALIMENTOS, 2, E SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE URUCUM, 1, Campinas, 1991. *Anais*, Campinas, ITAL, 1991. p.167-185.
7. FALESI, I.C. *Urucuzeiro: Recomendações básicas para seu cultivo*. Belém, EMBRAPA-UEPAE, 1987. 27p. (Documentos, 3).
8. FALESI, I.C. & KATO, O.R. *A cultura do urucum no norte do Brasil*. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1992. 47p. (Documentos, 65).
9. GÁSPERI M., R.R. & GÁSPERI M., R.D. Evaluacion del rendimiento y algunos de sus componentes en cinco cultivares de onoto (*Bixa orellana* L.). *Agronomia Tropical*, 41: 191-200, 1991.
10. KATO, O.R.; KATO, M. do S.A.; BELFORT, A.J.L.; BOTELHO, S.M. & MENEZES, A.J.E.A. de. Estudo da relação esterco-terriço na produção de mudas de urucuzeiro: I: Efeito na absorção de macronutrientes. *Revista Brasileira de Corantes Naturais*, 1(1): 54-64, 1992.
11. LI, C.C. The concept of path coefficient and its impact on population genetics. *Biometrics*, 12:190-210, 1956.
12. NASCIMENTO FILHO, F.J. do; ANDO, A.; CRUZ, C.D. & GARCIA, T.B. Análise de caminhamento em mudas de guaraná. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28:447-452, 1993.
13. OLIVEIRA, V.P. Genética, melhoramento e variedades do urucum. In: SÃO JOSÉ, A.R. & REBOUÇAS, T.N.H. (eds.). *A cultura do urucum no Brasil*. Vitória da Conquista, BA, UESB, 1990. p.61-63.
14. OLIVEIRA, F.J. de; VAREJÃO-SILVA, M.A. & GOMES, M.J. Seleção de caracteres agronômicos do caupi usando coeficientes de caminhamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 25:1055-1064, 1990.

15. PAIVA, J.R.; ROSSETTI, A.G. & GONÇALVES, P. DE S. Uso do coeficiente de caminhamento no melhoramento da seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 17:433-440, 1982.
16. PINHEIRO, A.L. & ALMEIDA, E.C. de. Avaliação de um híbrido artificial obtido entre duas variedades de urucum (*Bixa orellana* L.) em Viçosa - Minas Gerais. *Revista Brasileira de Corantes Naturais*, 1(1):31-35, 1992.
17. RANGEL, P.H.N.; GALVÃO, J.D. & SILVA, J.C. Coeficientes de trilha em cultivares de arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 17: 239-246, 1982.
18. SANTOS, C.A.F.; MENEZES, E.A.; PAINI, J.N. & CRUZ, C.D. Coeficiente de trilha no estudo dos componentes primários e secundários na produção de grãos do guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). *Revista Ceres*, 41:299-305, 1994.
19. SANTOS, C.A.F.; REIS, M.S.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA, C.S. & SEDIYAMA, T. Adequação de modelos no estudo do coeficiente de trilha dos componentes primários e secundários de progênies F₆ de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Revista Ceres*, 42:111-121, 1995.
20. SÃO JOSÉ, A.R.; REBOUÇAS, T.N.H.; SOUSA, P.J.S. & SOUZA, I.V.B. Seleção de urucueiros (*Bixa orellana* L.) superiores do tipo cultivado bico de pato na região de Vitória da Conquista-BA. *Revista Brasileira de Corantes Naturais*, 1(1): 106-113, 1992.
21. SOARES, P.C.; SILVA, J.C.; RANGEL, P.H.N.; CUTRIM, V. dos A.; CASTRO, E. da M. de. & CRUZ, C.D. Correlações e coeficientes de trilha de caracteres do arroz cultivado em várzea úmida ou sob irrigação com inundação. *Revista Ceres*, 37:1-15, 1990.
22. VENCOVSKY, R. & BARRIGA, P. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.
23. WRIGHT, S. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, 20:557-585, 1921.
24. WRIGHT, S. Theory of path coefficients. *Genetics*, 8: 239-255, 1923.