

# ANÁLISE DE CAMINHAMENTO EM MUDAS DE GUARANÁ<sup>1</sup>

FIRMINO JOSÉ DO NASCIMENTO FILHO<sup>2</sup>, AKIHIKO ANDO<sup>3</sup>,  
COSME DAMIÃO CRUZ<sup>4</sup> e TEREZINHA BATISTA GARCIA<sup>5</sup>

RESUMO - A análise do coeficiente de caminhamento em mudas de guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* H.B.K.) envolveu cinco caracteres da parte aérea e um do sistema radicular. Os dados utilizados foram obtidos de um estudo sobre o coeficiente de correlação genética entre caracteres da parte aérea e do sistema radicular das mesmas mudas. O caráter diâmetro basal do ramo apresentou correlação e efeitos indiretos positivos, além de ser o caráter com o maior efeito direto positivo sobre o peso da raiz. O peso seco da parte aérea, apesar de positivamente correlacionado com o peso seco da raiz, teve o maior efeito direto negativo sobre esse caráter. Conclui-se, portanto, que o diâmetro basal do ramo é uma característica que pode ser considerada como indicador indireto da magnitude do sistema radicular.

Termos para indexação: coeficiente de trilha, clones, melhoramento genético, *Paullinia cupana*.

## PATH-COEFFICIENT ANALYSIS IN GUARANÁ SEEDLINGS

ABSTRACT - A path-coefficient analysis was made on six characters in guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* H.B.K.) seedlings. The data utilized were obtained from a study of the genetic correlation between the characters of shoots and roots. The basal diameter of the stem was the shoot character that showed the highest direct positive effect in the correlation with the dry weight of the roots. On the other hand, the dry weight of the whole shoot showed the highest direct negative effect. It was concluded that the basal diameter of the stem is the character that may be considered as the indicator of the root system size.

Index terms: clones, plant breeding, *Paullinia cupana*.

## INTRODUÇÃO

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) é uma espécie nativa da Amazônia, que vem sendo cultivada há vários anos por diversas tribos indígenas. É uma planta alógama, pertencente à família Sapindaceae, perene, trepadeira em estado selvagem e semi-arbusto em cultivo. Seu sistema radicular é do tipo pivotante fasciculado, concentrando-se nos primeiros 50 cm de profundidade e atingindo, no máximo, 2 cm além do tronco. Em condições favoráveis, a planta pode viver até 40 anos. O seu produto comercial são suas sementes,

principalmente por suas propriedades medicinais e estimulantes. Isso despertou, nos colonizadores da região, a sua domesticação e exploração em forma de plantios comerciais. A alta variabilidade nesses plantios, com indivíduos produtivos, tolerantes ou resistentes a doenças, e outros de baixa produção ou altamente susceptíveis às doenças, causam grande desuniformidade nos plantios. Esse fato é atribuído à propagação sexuada do guaranazeiro. Contudo, essa variabilidade tem permitido a seleção de genótipos superiores e sua fixação através de clonagem por estaquia.

No melhoramento de plantas, utiliza-se o conhecimento das correlações genéticas como respaldo para a seleção, pois a preocupação não é melhorar quanto a caracteres isolados, e sim, quanto a um conjunto de caracteres simultaneamente (Falconer 1972). O desconhecimento das interrelações entre vários caracteres e a prática da seleção em apenas um caráter de importância agrônômica freqüentemente resultam em um ga-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 9 de outubro de 1992.

Trabalho financiado com recursos da EMBRAPA.

<sup>2</sup> Eng.-Agr., M.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas, EMBRAPA/CPAA, Caixa Postal 319, CEP 69048-660 Manaus, AM.

<sup>3</sup> Eng.-Agr., Ph.D. em Rádio-Genética, ESALQ/USP, Caixa Postal 83, CEP 13400 Piracicaba, SP.

<sup>4</sup> Eng.-Agr., Ph.D. em Genética e Melhoramento, UFV, CEP 36570 Viçosa, MG.

<sup>5</sup> Eng.-Agr., M.Sc. em Fitotecnia, EMBRAPA/CPAA.

inho genético abaixo do desejável no melhoramento de plantas (Bhatt 1973).

A estimação das correlações simples entre caracteres é de grande interesse no melhoramento, por expressar a associação mútua entre duas variáveis. Estudos adicionais referentes ao desdobramento dessas correlações, em efeitos diretos e indiretos, são também fundamentais principalmente quando informações sobre causa e efeito são desejáveis no estudo realizado.

Os coeficientes de caminhamento constituem estimadores dos efeitos diretos de um conjunto de variáveis explicativas sobre outra principal, geralmente de grande importância econômica, porém complexa, e dos efeitos indiretos que cada variável explicativa tem sobre as demais. A estimação desses coeficientes é indispensável para identificação de caracteres que efetivamente passam a ser utilizados em seleções indiretas. Seu conhecimento possibilita um entendimento mais profundo do desempenho do material genético disponível.

Utilizando-se dados referentes a caracteres da parte aérea e do sistema radicular, efetuou-se a análise do coeficiente de caminhamento com o objetivo de determinar as interrelações entre alguns caracteres de mudas de guaraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, foram utilizadas as estimativas dos coeficientes de correlação genotípicas entre os caracteres peso seco das raízes (PSRZ), comprimento do ramo (CR), diâmetro basal do ramo (D), número de folhas (NF), área foliar (AF), peso seco da parte aérea (PSDA) e o peso seco total (PST), apresentados por Nascimento Filho (1988) em estudos envolvendo 36 clones de guaraná, avaliados em delineamento de blocos casualizados com cinco repetições e com parcelas constituídas de dez plantas. Esses clones foram avaliados em relação a 35 caracteres agrônômicos em mudas de 8 meses de idade.

As plantas pertencem à coleção de germoplasma do Campo Experimental do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental - CPAA/Manaus, AM -, localizado no Km 30 da Rodovia AM-010, Manaus-Itacoatiara, no Estado do Amazonas, numa latitude de 03°08'S e longitude de 59°52'W.Gr. e com altitude de 50 m. Segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo de clima tropical chuvoso tipo Af1, com temperatura média do mês mais frio, superior a 18°C, e uma

precipitação superior a 60 mm no mês mais seco, de acordo com o "Boletim Agrometeorológico" da EMBRAPA-UEPAE de Manaus (1984). Em terra firme destacam-se os latossolos amarelos distróficos.

De acordo com Li (1956, 1975), construiu-se um diagrama de causa-efeito, mostrando as relações entre a variável básica e as variáveis explicativas, como também suas interrelações apresentadas na Fig. 1. No diagrama, as setas unidirecionais indicam a influência direta de cada uma das cinco variáveis explicativas, medidas pelo coeficiente de caminhamento, simbolizado por  $P_{jx}$  ( $j = 1,2,3,4,5$ ). As setas bidirecionais mostram a interdependência dos componentes, cuja magnitude e direção são dadas pelo coeficiente de correlação simples.

A variável 6, não correlacionada, mas incluída no diagrama, representa os fatores residuais, o que permite completa determinação dos efeitos.

De acordo com o diagrama da Fig. 1, foram estabelecidas 5 equações, da seguinte forma:

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

$$r_2 = r_{21}P_{1x} + P_{2x} + r_{23}P_{3x} + r_{24}P_{4x} + r_{25}P_{5x}$$

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

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

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

Os coeficientes de caminhamento foram obtidos a partir das correlações genotípicas, adotando-se o método sugerido por Dewey & Lu (1959) para resolução do conjunto de equações simultâneas.

Nessas equações,  $P_{jx}$  ( $j = 1,2,3,4,5$ ) mede o efeito direto da  $i$ -ésima variável sobre o peso seco da raiz. Os outros termos ( $r_{ij}P_{jx}$ ) medem os efeitos indiretos da  $i$ -ésima variável sobre  $x$ , através da  $j$ -ésima variável. O sistema de equações descrito foi colocado em forma matricial, possibilitando a estimação elementar, seguindo metodologia usada por Vasconcellos (1982).

Através dos efeitos diretos e indiretos, inclusive do efeito residual ( $P_{6x}$ ), obteve-se a equação de determinação total:

$$1 = P_{6x}^2 + P_{1x}^2 + P_{2x}^2 + P_{3x}^2 + P_{4x}^2 + P_{5x}^2 +$$

$$+ 2P_{1x}r_{12}P_{2x} + 2P_{1x}r_{13}P_{3x} + 2P_{1x}r_{14}P_{4x} +$$

$$+ 2P_{1x}r_{15}P_{5x} + 2P_{2x}r_{23}P_{3x} + 2P_{2x}r_{24}P_{4x} +$$

$$+ 2P_{2x}r_{25}P_{5x} + 2P_{3x}r_{34}P_{4x} + 2P_{3x}r_{35}P_{5x} + 2P_{4x}r_{45}P_{5x}$$

onde:

$$P_{1x}^2 + P_{2x}^2 + \dots + 2P_{4x}P_{5x} = R_{x(1,2,3,4,5)}^2$$

sendo:

$R_{x(1,2,3,4,5)}^2$  o coeficiente de determinação da análise de caminhamento, ou, de maneira equivalente, o coeficiente de determinação da regressão múltipla, tendo como variável dependente o peso da raiz, e como variáveis independentes, as cinco características explicativas do diagrama da análise de caminhamento.

O efeito residual ( $P_{6x}^2$ ) foi obtido da seguinte forma:

$$P_{6x}^2 = 1 - R_{x(1,2,3,4,5)}^2$$

ou

$$P_{6x} = [1 - R_{x(1,2,3,4,5)}^2]^{1/2}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de caminhamento proporciona um conhecimento detalhado da influência dos caracteres envolvidos num diagrama previamente estabelecido, e justifica a existência de correlações positivas e negativas, de altas e baixas magnitudes entre os caracteres estudados.

O desdobramento em efeitos diretos e indiretos dos coeficientes das correlações genóticas entre os caracteres em estudo, conforme o diagrama causal apresentado na Fig. 1, encontra-se na Tabela 1.

Entre os caracteres envolvidos no desdobramento das correlações, o diâmetro basal do ramo mostrou a mais alta correlação com o peso seco da raiz ( $r = 0,945$ ), sendo seguido pelo peso seco da parte aérea ( $r = 0,911$ ) e comprimento do ramo ( $r = 0,910$ ).

O mais alto efeito direto sobre o peso seco da raiz foi proporcionado pelo diâmetro basal (0,973), cuja estimativa é semelhante ao coeficiente de correlação. O alto efeito indireto negativo, com o peso seco da parte aérea (-1,354), foi compensado em sua maior parte pelos efeitos indiretos positivos via comprimento do ramo (0,550), número de folhas (0,189) e área foliar (0,592).

O comprimento do ramo e a área foliar apresentaram efeitos diretos com valores próximos

(0,655 e 0,637, respectivamente). Os efeitos indiretos do comprimento do ramo (0,817) e da área foliar (0,905), via diâmetro basal do ramo, refletiram em quase toda a sua magnitude os valores das próprias correlações do comprimento do ramo com o diâmetro basal do ramo ( $r = 0,842$ ) e da área foliar com o diâmetro basal do ramo ( $r = 0,925$ ). Porém, os efeitos indiretos do comprimento do ramo (-1,047) e da área foliar (-1,340), via peso seco da parte aérea, mostraram ser negativos e relativamente altos, sendo contrabalanceados pelos efeitos indiretos via as demais variáveis explicativas.

O caráter número de folhas foi o que apresentou, de maneira geral, os menores efeitos. O efeito direto (0,394) não correspondeu à magnitude do valor do coeficiente de correlação com o peso de raiz ( $r = 0,624$ ), sendo que este foi influenciado indiretamente pelos efeitos do número de folhas via os caracteres diâmetro basal do ramo (0,467) e área foliar (0,478), principalmente. Esses dois efeitos, juntamente com o efeito indireto via comprimento do ramo (0,203), contribuíram para neutralizar o efeito indireto negativo via peso seco da parte aérea (-0,921). O menor efeito indireto via diâmetro do ramo foi apresentado no desdobramento dessa correlação, ou seja, número de folhas com peso seco da raiz, explicando a baixa magnitude do coeficiente de correlação genética entre o diâmetro basal do ramo e o número de folhas ( $r = 0,483$ ). Os baixos valores expressados pelos efeitos indiretos, através do caráter número de folhas via variáveis explicativas, refletiram as baixas magnitudes relativas das correlações entre o número de folhas e os demais caracteres.

O coeficiente de correlação entre peso seco da parte aérea e peso seco da raiz ( $r = 0,911$ ) não foi explicado pelo seu efeito direto (-1,396), mas através da influência indireta via diâmetro basal do ramo (0,944) e área foliar (0,611), principalmente, que somados aos efeitos indiretos do comprimento do ramo (0,491) e número de folhas (0,260) compensaram o alto efeito direto negativo.

Apesar da alta correlação ( $r = 0,911$ ) quanto ao caráter peso seco da parte aérea sobre o peso seco da raiz, a análise de caminhamento revelou que esse caráter não constitui um bom indicador para

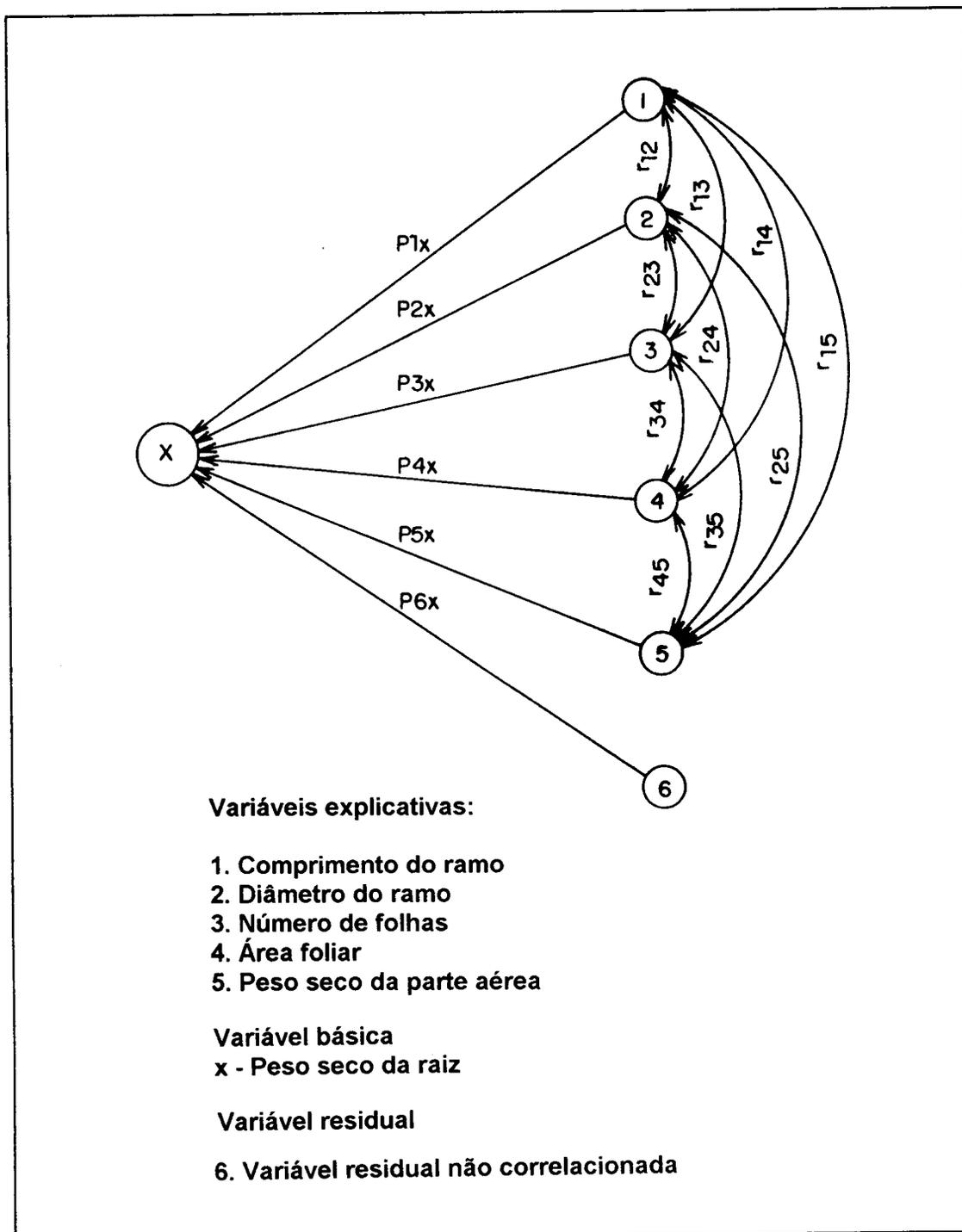


FIG. 1. Causas-efeitos de seis variáveis relacionadas a caracteres de mudas de guaraná propagadas vegetativamente mostrando suas interrelações, onde, 1,2,3,4 e 5 são causas correlacionadas de X.

**TABELA 1. Desdobramento das correlações genotípicas entre peso seco da raiz (PSRZ) e cinco características explicativas (CR = comprimento do ramo; D = diâmetro basal do ramo; NF = número de folhas; AF = área foliar e PSPA = peso seco da parte aérea) em efeitos diretos e indiretos. CPAA, Manaus, 1991. Manaus, AM.**

Vias de associação	Efeito direto do coeficiente de caminhamento	Efeito indireto do coeficiente de caminhamento	Coefficiente de correlação
<b>CR</b>			
Efeito direto sobre PSRZ	0,655		
Efeito indireto via D		0,817	
Efeito indireto via NF		0,122	
Efeito indireto via AF		0,363	
Efeito indireto via PSPA		-1,047	
Total			0,910
<b>D</b>			
Efeito direto sobre PSRZ	0,973		
Efeito indireto via CR		0,550	
Efeito indireto via NF		0,189	
Efeito indireto via AF		-0,592	
Efeito indireto via PSPA		-1,354	
Total			0,945
<b>NF</b>			
Efeito direto sobre PSPZ	0,394		
Efeito indireto via CR		0,203	
Efeito indireto via D		0,467	
Efeito indireto via AF		0,478	
Efeito indireto via PSPA		-0,921	
Total			0,624
<b>AF</b>			
Efeito direto sobre PSRZ	0,637		
Efeito indireto via CR		0,373	
Efeito indireto via D		0,905	
Efeito indireto via NF		0,295	
Efeito indireto via PSPA		-1,340	
Total			0,868
<b>PSPA</b>			
Efeito direto sobre PSRZ	-1,396		
Efeito indireto via CR		0,491	
Efeito indireto via D		0,944	
Efeito indireto via NF		0,260	
Efeito indireto via AF		0,611	
Total			0,911
$R^2_{x(1,2,3,4,5)}$			1,04 <sup>1</sup>
$P_{\sigma x}$			0,00

<sup>1</sup> Estimativa do número real 1,00.

seleção indireta devido o seu alto efeito direto negativo.

O resultado obtido através do coeficiente de

correlação entre peso seco da parte aérea e o peso seco da raiz evidencia muito bem a importância da análise de caminhamento sobre o estudo deta-

lhado das correlações. Assim, foi possível visualizar as interrelações dos caracteres, uma vez que a correlação simples mede apenas a associação mútua entre duas variáveis, onde permanecem embutidas as causas e os efeitos responsáveis por tal correlação.

De acordo com a estimativa do coeficiente de determinação de análise de caminhamento  $R_{x(1,2,3,4,5)}^2 = 1$ , o componente residual ( $P_{6x}$ ) ficou reduzido a zero. E, dessa maneira, ficou evidente que as variáveis que compuseram o diagrama causal explicaram em 100% a produção de matéria seca de raiz, através de seus efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas.

De todos os desdobramentos efetuados pela análise de caminhamento, observa-se um aspecto muito importante que é dos altos valores dos efeitos indiretos via diâmetro do ramo para os caracteres comprimento do ramo (0,817), área foliar (0,905) e peso seco da parte aérea (0,944), além de seu alto efeito direto sobre o peso da raiz (0,973). Isso explica, de forma segura, a alta correlação com o peso seco da raiz ( $r = 0,945$ ). Ficando confirmado que o diâmetro basal do ramo é importante caráter para seleção indireta da magnitude do sistema radicular, sendo portanto a melhor característica para a seleção indireta.

### CONCLUSÕES

1. O diâmetro basal do ramo pode ser considerado, dentro dos padrões de seleção de mudas, um indicador indireto do sistema radicular. Sua correlação, seus efeitos direto e indireto, via outros caracteres da parte aérea, foram positivos e relativamente de alta magnitude.

2. Apesar da existência de correlação positiva entre peso seco da parte aérea e da raiz, a análise de caminhamento indicou não haver relação de causa e efeito entre essas variáveis. Seu uso como indicador indireto do sistema radicular não é recomendado se outros caracteres também não forem levados em consideração.

### REFERÊNCIAS

- BHATT, G.M. Significance of path coefficient analysis in determining the nature of character association. *Euphytica*, v.22, p.338-343, 1973.
- BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO. Manaus: EMBRAPA-UEPAE Manaus, 1984.
- DEWEY, D.R.; LU, K.H. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested-heatgrass seed production. *Agronomy Journal*, v.51, p.515-518, 1959.
- FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. London: Oliver & Boyd, 1972. 365p.
- LI, C.C. The concept of path coefficient and its impact on population genetics. *Biometrics*, v.12, p.190-210, 1956.
- LI, C.C. **Path analysis - a primer**. California: Wood Press, 1975. 346p.
- NASCIMENTO FILHO, F.J. do. **Coefficiente de caminhamento entre caracteres da parte aérea e do sistema radicular em guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*)**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 101p. Tese de Mestrado.
- VASCONCELLOS, M.E. da C. **Análise do coeficiente de caminhamento ("Path coefficient") e estimativas de parâmetros genéticos em clones de seringueira (*Hevea* spp.)**. Piracicaba: ESALQ, 1982. 77p. Tese de Mestrado.