

EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA ESTIMAÇÃO DA ÁREA FOLIAR DE DOIS CLONES DO CAJUEIRO-ANÃO-PRECOCE (*Anacardium occidentale* L.)

*Regression equations to estimate leaf area of two dwarf precocious cashew (*Anacardium occidentale* L.) clones*

PAULO SÉRGIO LIMA E SILVA*
FÁBIO DE LIMA GURGEL**
ELIVÂNIA SOARES DA SILVA**
EDIMAR TEIXEIRA DINIZ FILHO***

RESUMO

A mensuração da área foliar é requerida em vários estudos agrônômicos. Comumente, existe interesse por métodos de mensuração simples, rápidos e que não destruam a folha. O objetivo do trabalho foi ajustar equações, que permitam estimar a área da lâmina foliar (Y) do cajueiro anão-precoce, a partir do comprimento (C) e da largura (L) máximos desta lâmina. Dois métodos de amostragem (U e T) e dois métodos de estimação (R e E) foram usados para estimar a área foliar de dois clones (CCP-009 e CCP-076). No método U, foram usadas 100 folhas de uma só planta. No método T, três plantas forneceram as 100 folhas, em proporções aproximadamente iguais. No método R, $X = \text{área do retângulo} = CL$. No método E, $X = \text{área da elipse} = \pi CL/4$. Concluiu-se ser indiferente o uso de folhas de uma ou de três plantas, de um ou outro clone, para estimação da área foliar. Contudo, existem diferenças entre métodos de estimação, apesar de ambos terem se mostrado eficiente na estimação da área foliar. Para o método R, a equação é $Y = 4,56 + 0,70 C.L.$ Para o método E, a equação é $Y = 0,74 C.L.$

Palavras-chave: método de amostragem, predição de área foliar, comprimento de folha, largura de folha.

SUMMARY

The measurement of leaf area is required in a variety agronomic studies. Usually, there is interest in simple, quick and non – destructive methods of measurement. The objective of this work was to adjust regression equations, allowing to estimate the area of cashew leaf blade (Y) from measurement of the maximum leaf length (L) and width (W). Two sampling methods (U and T) and two estimating methods (R and E) were used to estimate leaf area of the CCP-009 and CCP-076 clones. In the U method, 100 leaf blades of an only plant were used while in the method T, three plants supplied the 100 leaf blades in same proportions. In the R estimating method, $X = \text{rectangle area} = L.W$. In the E method $X = \text{ellipsis area} = p.L.W/4$. It was concluded that, for estimating cashew blade leaf, the use of leaves from one plant or three plants, from the CCP-009 or CCP-076

* Eng. Agr., Dr., Prof. Adjunto. Esc. Sup. de Agric. de Mossoró (ESAM), C.P. 137, CEP 59625-900 Mossoró-RN.

** Estudante de Agronomia da ESAM. Bolsista do CNPq. C.P. 137, CEP 59625-900 Mossoró-RN.

*** Eng. Agr. Bolsista do CNPq. C.P. 137, CEP 59625-900 Mossoró-RN.

clones, is indifferent. However, there are differences between estimating methods, despite both methods had been efficient in estimating leaf area. The regression equation for R method is $Y_R = 4,56 + 0,70 L.W$, while the corresponding equation for E method is $Y_E = 0,74 L.W$.

Key words: sampling method, prediction of leaf area, leaf length, leaf width.

INTRODUÇÃO

A importância do cajueiro para o nordeste brasileiro e para o estado do Rio Grande do Norte foi sumariada por PESSOA & PARENTE (15) e PIMENTEL (16), respectivamente. O interesse pelo cajueiro-anão-precoce é indicado pelo próprio nome. Ele começa a produzir mais cedo e a colheita é mais fácil de ser feita do que com o cajueiro comum. Apesar da importância da referida cultura, ela tem sido relativamente pouco estudada, mesmo em seus aspectos básicos. Isto pode estar associado a um pequeno número de pesquisadores trabalhando com a cultura, à natureza perene da espécie e ao seu cultivo em regiões pobres. A área foliar é indicadora da capacidade fotossintética de uma planta e a sua determinação é muito importante em estudos de nutrição, competição e relações solo-água-planta. É importante também como índice de crescimento da planta e está estreitamente correlacionada à acumulação de matéria seca, metabolismo à produção, assim como a maturação e qualidade da cultura (1).

Dada a importância da área foliar, um grande número de métodos foi desenvolvido para medi-la (9). Inicialmente os métodos diretos disponíveis requeriam o destacamento das folhas e eram, por conseguinte, impraticáveis para alguns estudos. Além do mais, exigiam o uso de aparelhos caros (planímetros, fotômetros, células fotoelétricas) e técnicas sofisticadas que nem sempre estão ao alcance do pesquisador (12). Por essa razão, mesmo recentemente, pesquisadores de países ricos têm procurado estabelecer métodos indiretos de determinação da área foliar (14). Posterior-

mente foram desenvolvidos medidores de área foliar que permitem a mensuração mesmo com a folha ligada à planta

Vários estudos têm sido feitos visando o estabelecimento de métodos indiretos de determinação da área foliar de diversas culturas, incluindo: açafrao (20), algodão (10, 21), amendoim (25), begônia (23), caupi (12, 13), feijão (1), girassol (19), goiaba (6), lechia (17), mamona (26), milheto (14), milho (22), pepino (18), soja (27), sorgo (24), tomate (8), uva (4) e na invasora *Wissadula subpeltada* (3), dentre outras espécies. No cajueiro, apenas dois trabalhos foram encontrados na literatura consultada tratando da estimação da área foliar (2, 11).

O método indireto mais frequentemente usado é aquele que procura estabelecer equações de regressão entre a área foliar e mensurações lineares da folha, geralmente comprimento e largura máximos. Isto é, numa amostra de folhas a área foliar é determinada por algum mecanismo preciso. Nas mesmas folhas são medidos o comprimento e a largura. São, então, estabelecidas equações do tipo $Y = a + bX$, onde Y é a área foliar estimada e X , o produto do comprimento pela largura. Tais equações são usadas, então, em amostras subsequentes.

O objetivo do presente trabalho é estabelecer equações de regressão que permitam a estimação da área foliar de dois clones de cajueiro-anão-precoce, a partir do comprimento e da largura da folha, com o uso de dois métodos de amostragem e de dois métodos de estimação.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado usando amostras de folhas adultas dos clones CCP-009 e CCP-076. As plantas amostradas foram cultivadas no pomar de cajueiros da Fazenda Experimental "Rafael Fernandes", pertencente à Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM) e distante 20 km da sede do município de Mossoró-RN.

As plantas amostradas tinham idade aproximada de sete anos e quatro meses e estavam espaçadas de 7 m x 7 m. Dois métodos de amostragem foram utilizados. No primeiro, 100 folhas foram coletadas de uma única planta. No segundo método de amostragem, foram coletadas 33 folhas de cada uma de duas plantas e 34 folhas de uma terceira planta. Portanto, nos dois métodos, cada folha representou uma unidade amostral e o tamanho amostral foi de 100 unidades amostrais. Somente foram coletadas folhas aparentemente adultas, situadas na periferia ou no interior da copa. Na escolha das plantas e folhas, procurou-se ser aleatório, sem, contudo usar-se um mecanismo de sorteio (isto é, numeração de plantas e folhas e uso de uma tabela de dígitos aleatórios, por exemplo).

A mensuração do comprimento e da largura máxima de cada folha foi feita com régua graduada em mm e a área foliar foi determinada com um medidor de área foliar marca LICOR modelo 3100 (LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, USA). Tal medidor tem sido usado por outros autores (14).

Dois métodos de estimação foram utilizados, ambos baseados na equação $Y = a + bX$. Nessa equação Y representa a área foliar estimada. Num dos métodos (método retângulo) X representa o produto do comprimento (C) pela largura máxima da folha (L). No outro método (método da elipse), $X = p(CL)/4$ (área de uma elipse com semi-eixos $C/2$ e $L/2$). A idéia de incluir esse segundo método deveu-se à for-

ma do limbo foliar do cajueiro (Figura 1) ser semelhante à forma de uma elipse.

Com os dados das amostras foram estimados os parâmetros a e b , da referida equação para cada uma das oito combinações (dois clones x dois métodos de amostragem x dois métodos de estimação). A estimação e os testes de hipóteses a respeito dos parâmetros foram feitos de acordo com HOFFMANN & VIEIRA (5). Os testes de hipóteses, feitos a respeito da diferença entre dois coeficientes de regressão, foram aplicados seguindo-se as recomendações de LeCLERG et al. (7).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas foliares médias (com respectivos desvios-padrão) para o clone CCP-009, com amostragens de folhas de uma e três plantas foram $70,5 \text{ cm} \pm 14,4 \text{ cm}$ e $88,9 \text{ cm} \pm 20,0 \text{ cm}$, respectivamente. Para o clone CCP-076, os valores respectivos foram $68,3 \text{ cm} \pm 14,1 \text{ cm}$ e $74,5 \text{ cm} \pm 13,5 \text{ cm}$.

Na Tabela 1 são apresentados os coeficientes linear, angular e de determinação para a equação $Y = a + bX$ ajustada para a estimação da área foliar dos dois clones pelos dois métodos de amostragem e dois



Figura 1 - Desenho das folhas dos clones CCP-009 (esquerda) e CCP-076 de cajueiro anão-precoce (o desenho é baseado em 50 % das medidas reais e é apresentado apenas para ilustrar a forma das folhas).

Figure 1 - Leaf scheme of the CCP-009 (left) and CCP-076 clones of dwarf precocious cashew (the scheme is based on 50 % of the real measures and it is presented only to indicate the leaves shape).

TABELA 1 - Coeficientes linear, angular e de determinação para a equação $Y = a + bX$ ajustada para estimação da área foliar de dois clones de cajueiro-anão-precoce por dois métodos de amostragem e dois métodos de estimação.

Table 1 - Linear, angular and determination coefficients of the $Y = a + bX$ equation for leaf area estimation of the two dwarf precocious clones cashew, by two sampling methods and two estimation methods.

Clone Clone	Método de amostragem (N° de plantas) Sampling methods (plant number)	Método de estimação ¹ Estimation method ¹	Coeficientes ² Coefficients ²		
			Linear (a) Linear	Angular (b) Angular	Determinação (R ²) Determination
CCP-009	1	Retângulo Rectangle	1,36 ^{ns}	0,72*	0,948
		Elipse Ellipsis	- 1,10 ^{ns}	0,92*	0,951
	3	Retângulo Rectangle	0,32 ^{ns}	0,74*	0,958
		Elipse Ellipsis	0,41 ^{ns}	0,95*	0,967
CCP-076		Retângulo Rectangle	0,04 ^{ns}	0,75*	0,971
		Elipse Ellipsis	0,07 ^{ns}	0,96*	0,979
	3	Retângulo Rectangle	2,27 ^{ns}	0,73*	0,988
		Elipse Ellipsis	1,84 ^{ns}	0,94*	0,971

¹No método "retângulo", $X = C.L$. No método "elipse", $X = \pi.C.L/4$. C e L são o comprimento e a largura da folha, respectivamente.

²ns, * = não significativo e significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste t, respectivamente.

¹In the "rectangle" method, $X = L.W$. In the "Ellipsis" method, $X = \pi.L.W/4$. L e W are the length and width of the leaf, respectively.

²ns, * = no significant and significant at 5% level probability, by t test, respectively.

métodos de estimação. O coeficiente linear (a) não foi significativamente diferente de zero pelo teste t ($P > 0,05$) para as equações ajustadas. VIVEKANANDAN et al. (25) também observaram valores estatisticamente não-significativos para o intercepto de equações lineares para estimativas da área foliar de amendoim, milho e arroz. Para o amendoim e milho os valores foram de 0,23 e 0,13, respectivamente. Para o arroz, os valores variaram de - 1,30 a 0,45. Segundo eles, os valores dos referidos interceptos poderiam ser omitidos das equações de regressão, sem afetar a estimativa da área foliar.

Observa-se ainda, pelos dados da Tabela 1, que todos os valores para o coeficiente angular (b) foram significativamente diferentes de zero, a 1% de probabilidade pelo teste t. Os valores de b variaram de 0,72 a 0,75 com o método "retângulo" e de 0,92 a

0,96 com o método "elipse". Para todos os clones e métodos de amostragem e de estimação foram obtidos valores elevados para o coeficiente de determinação (acima de 94,5%). Em geral, os valores para R² obtidos para os clones CCP-009 ou CCP-076, foram de mesma magnitude com a adoção de um ou outro método de amostragem ou estimação. Valores elevados para R² têm sido obtidos na estimação da área foliar do pepino (de 0,76 a 0,99) (18), girassol (de 0,85 a 0,96) (19), milho (0,91), amendoim (0,87) e arroz (0,95) (25). Mas para lechia (*Nephelium litchi* Lamk.) foram obtidos valores variando de 0,20 a 0,48.

Na Tabela 2 são apresentados os valores calculados para o teste t para testar a diferença estatística entre dois coeficientes angulares (b) quaisquer (Tabela 1). Constata-se que não ocorreram diferenças sig-

TABELA 2 – Valores calculados para o teste t para testar a diferença entre dois coeficientes angulares de equações do tipo $\hat{Y} = a + bX$, usadas para estimar a área de dois clones de cajueiro-anão-precoce, por dois métodos de amostragem e dois métodos de estimação¹.

Table 2 – Calculated values for t test for to test the difference between two angular coefficients from equations type $\hat{Y} = a + bX$, used for estimating leaf area of two dwarf precocious clones cashew, by two sampling methods and two estimation methods.

Procedimentos Procedures	Procedimentos (clone – método de amostragem – método de estimação) ² Procedures (clone – sampling method – estimation method) ²							
	009-1-R	009-3-R	076-1-R	076-3-R	009-1-E	009-3-E	076-1-E	076-3-E
009-1-R	-	0,86 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,47 ^{ns}	7,38*	9,33*	10,81*	10,29*
009-3-R		-	0,49 ^{ns}	0,49 ^{ns}	6,88*	8,39*	10,44*	9,89*
076-1-R			-	1,09 ^{ns}	6,88*	9,09*	10,92*	11,49*
076-3-R				-	7,71*	10,04*	12,03*	11,56*
009-1-E					-	1,09 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,81 ^{ns}
009-3-E						-	0,44 ^{ns}	0,46 ^{ns}
076-1-E							-	1,05 ^{ns}
076-3-E								-

¹ns, * = não significativo e significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste t, respectivamente.

²Exemplo: 009-1-R = clone CCP-009, uma planta amostrada e método de estimação “retângulo”

¹ns, * = no significant and significant at 5% level probability, by t test, respectively.

²Example: 00-1-R = CCP-009 clone, one plant sampled and “rectangle” estimation method.

nificativas entre valores de b, estimados pelo método “retângulo”, com a adoção de uma ou três plantas, para quaisquer dos dois clones. Fato semelhante ocorreu com os valores de b estimados pelo método “elipse”. Entretanto, todos os valores de b estimados pelo método “retângulo” foram diferentes, estatisticamente, de todos os valores de b estimados pelo método “elipse” (as diferenças estão indicadas pelos 16 valores situados no canto superior direito da Tabela 2).

Os dados da Tabela 2 indicam, portanto, que podem ser usadas uma ou três plantas para amostragem de folhas, visando-se a determinação da área foliar do clones CCP-009 ou CCP-076, usando-se o método “retângulo” ou o método “elipse”. Portanto, as mensurações feitas nos dois clones de uma ou três plantas, foram reunidas para o ajuste de duas equações gerais. Uma para o método “retângulo” e outra para o método “elipse”. Procedimento semelhante tem sido adotado por outros autores (25). Para o método “retângulo”, foi ajustada a equação $Y = 4,56 + 0,70X$, com coeficientes significativos a 1% de probabilidade e $R^2 = 0,922$. Desde que X é o produto do

comprimento (C) pela largura máxima da folha (L), então, a área foliar seria estimada por $Y = 4,56 + 0,70CL$. Para o método “elipse” foi ajustada a equação $Y = 0,68 + 0,94X$, com $R^2 = 0,973$, sendo significativo apenas o coeficiente angular (a 1% de probabilidade). Nessa equação, $X = p.C.L/4 = 0,79CL$. Então, $Y = 0,74CL$, desde que o valor de a não diferiu, estatisticamente de zero. BHAGAVAN & SUBBAIAH (2), para plântulas de cajueiro, concluíram que a área (A) de folhas individuais poderia ser estimada por $A = - 17,194 + 4,607 L$ ($R^2 = 0,78$) ou $A = 0,74 + 0,668 L.C$ ($R^2 = 0,91$), onde C e L representam o comprimento e a largura, respectivamente. Em estudo semelhante ao de BHAGAVAN & SUBBAIAH (2), MURTHY *et al.* (11) obtiveram as seguintes equações: $A = 0,21 + 0,69 L.C$ ($R^2 = 0,97$) $A = - 44,28 + 14,32 L$ ($R^2 = 0,90$).

Deve ser mencionado que, a depender da situação, uma equação geral não pode ser desenvolvida. VIVEKANANDAN *et al.* (25) desenvolveram uma equação geral para estimação da área foliar de plantas de arroz de várias idades. PERSAUD *et al.*

(14), por outro lado, concluíram que diferentes coeficientes podem ser necessários dependendo da posição da folha e do estágio de crescimento do milho. SEPASKHAN (20) constatou não ser recomendável o uso de uma mesma equação de predição para estimar a área foliar de cultivares locais e introduzidos de açafraão.

CONCLUSÕES

a) É indiferente o uso de folhas de uma ou de três plantas e de um ou do outro clone, para estimação da área foliar de ambos os clones. Contudo, existem diferenças entre métodos de estimação, apesar de ambos terem se mostrado eficiente;

b) Para o método do retângulo, a equação é $Y = 4,56 + 0,70CL$; para o método da elipse, a equação é $Y = 0,74CL$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BENINCASA, M.M.P., BENINCASA, M., LATANZE, R.J. et al. Método não destrutivo para estimativa da área foliar de *Phaseolus vulgaris* L. (feijoeiro). *Científica*, 4: 43-48, 1976.
2. BHAGAVAN, S., SUBBAIAH, C.C. A non-destructive method to estimate leaf-area in cashew seedlings. *Journal of Plantation Crops*, 11: 135-138, 1983.
3. BIANCO, S., PITELLI, R.A., PERECIN, D. Métodos para estimativa da área foliar de plantas daninhas, 2. *Wissadula subpeltata* (Kuntze) Fries. *Planta Daninha*, 6: 21-24, 1983.
4. GRANTZ, D.A., WILLIAMS, E. An empirical protocol for indirect measurement of leaf area index in grape (*Vitis vinifera* L.). *HortScience*, 28: 777-779, 1993.
5. HOFFMAN, R., VIEIRA, S. *Análise de regressão: uma introdução à econometria*. São Paulo: Hucite C., 1977, 339p.
6. KOBAYASHI, K.D. Estimating leaf area of 'Beaumont' guava. *Tropical Agriculture*, 65: 173-175, 1988.
7. LeCLERG, E.L., LEONARD, W.H., CLARK, A.G. *Field plot technique*. 2 ed Minneapolis: Burgess Publishing Company, 1966, 337p.
8. LYON, C.J. A factor method for the leaf area of tomato leaves. *Plant Physiology*, 23: 634-635, 1948.
9. MARSHALL, J.K. Methods of leaf area measurement of large and small leaf samples. *Photosynthetica*, 2: 41-47, 1968.
10. McMICHAEL, B.L., ELMORE, C.D., CATHEY, G.W. Nondestructive method for the determination of boll surface area in cotton. *Agronomy Journal*, 2: 426-427, 1976.
11. MURTHY, K.N., KUMAR, K.V., BHAGAVAN, S. et al. A rapid non-destructive method of estimating leaf area in cashew. *Acta Horticulturae*, 108: 46-48, 1985.
12. OLIVEIRA, J.P. de. Método não destrutivo para determinação da área foliar do feijoeiro caupi, *Vigna sinensis* (L) Savi cultivado em casa de vegetação. *Ciência Agronômica*, 7: 53-57, 1977.
13. OLIVEIRA, J.P. de, BARRETO, C.A.P. Métodos para determinação da área foliar do feijoeiro caupi, *Vigna sinensis* (L) Savi, cultivado em casa de vegetação. *Ciência Agronômica*, 10: 49-52, 1980.
14. PERSAUD, N., GANDAH, M., QUATTARA, M. et al. Estimating leaf area of pearl millet from linear measurements. *Agronomy Journal*, 85: 10-12, 1993.

15. PESSOA, P.F.A. de P., PARENTE, J.I.G. *Evolução e perspectiva para a cajucultura nordestina*. Fortaleza: EMBRAPA/CNPAT, 1991. 11p. (Boletim de Pesquisa, 4).
16. PIMENTEL, C.R.M. *Situação atual e alternativas para expansão da cajucultura no Rio Grande do Norte*. Fortaleza: EMBRAPA/CNPAT, 1973. 18p. (Documentos, 7).
17. RAY, P.K., SINGH., S.P., SHARMA, S.B. Note on estimation of leaf area of litchi cv. Shahi. *Indian Journal of Horticulture*, 49: 326-327, 1992.
18. ROBBINS, N.S., PHARR, D.M. Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements. *HortScience*, 22: 1264-1266, 1987.
19. SCHNEITER, A.A. Non-destructive leaf area estimation in sunflower. *Agronomy Journal*, 70: 141-142, 1978.
20. SEPASKHAN, A.R. Estimation of individual and total leaf areas of sunflowers. *Agronomy Journal*, 69: 783-785, 1977.
21. SESHADRI, V., SHANMUGHAM, K. A comparison of different methods for estimating total leaf area of cotton with normal and okra leaf shapes. *Indian Journal of Agronomy*, 28: 95-97, 1983.
22. SINGH, S.N., JAIN, O.P., SINGH, S. et al. Studies on estimation of leaf area in maize. *Indian Journal of Agronomy*, 29: 402-405, 1984.
23. SOUKUP, C.V.B., PERECIN, D., DEMATTÊ, M.E.S.P. Equações de regressão para estimativas de área foliar. Aplicações a duas espécies de begônia. *Científica*, 14: 93-99, 1986.
24. STICKLER, F.C., WEARDEN, S., PAULI, A.W. Leaf area determination in grain sorghum. *Agronomy Journal*, 53: 187-188, 1961.
25. VIVEKANANDAN, A.S., GUNASENA, H.P.M., SIVANAYAGAM, T. Statistical evaluation of the accuracy of three techniques used in the estimation of leaf area of crop plants. *The Indian Journal of Agricultural Science*, 42: 857-860, 1972.
26. WENDT, C.W. Use of a relationship between leaf length and leaf area to estimate the leaf area of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), castor (*Ricinus comunis* L.) and sorghum (*Sorghum vulgare* L.). *Agronomy Journal*, 59: 484-486, 1967.
27. WIERSMA, J.V., BAILEY, T.B. Estimation of leaflet, trifoliate, and total leaf areas of soybeans. *Agronomy Journal*, 67: 26-30, 1975.