



## Determinação da área foliar de macadâmia a partir de dimensões lineares do limbo foliar

### *Determination of leaf area in the macadamia from linear dimensions of the leaf blade*

Edilson Romais Schmildt<sup>1</sup>, Layane Segantini Oliari<sup>2\*</sup>, Omar Schmildt<sup>3</sup>, Rodrigo Sobreira Alexandre<sup>4</sup>, Jadson Alves Brumatti<sup>5</sup>, Douglas Gomes Viana<sup>6</sup>

**Resumo:** A mensuração da área foliar é requerida em vários estudos agrônomicos por ser uma das principais medidas para avaliar o crescimento das plantas. Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho determinar os modelos estatísticos que melhor descrevem a área foliar de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344, a partir de dimensões lineares de comprimento e largura do limbo. Um experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, com cinco repetições. A parcela consistiu dos pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste) de uma planta, e as subparcelas foram as três posições na planta (terços inferior, médio e superior). A área foliar foi medida com o auxílio do software ImageJ<sup>®</sup>, de domínio público, por análise de imagens digitalizadas das folhas. Foram estimadas equações por meio de modelos de regressão linear e não linear, a partir de 600 folhas. As equações obtidas, juntamente com outras quatro equações citadas na literatura para outras cultivares, foram validadas a partir de amostra de 200 folhas. A modelagem estatística de área foliar de plantas adultas de macadâmia - cv. HAES 344 pode ser feita com uso de folhas amostradas de quaisquer dos quatro pontos cardeais e posições de altura nas plantas. A determinação da área foliar é representada com uso do produto do comprimento (C) pela máxima largura (L) das folhas como variável independente. A equação de determinação de área foliar indicada para folhas de plantas adultas de macadâmia - cv. HAES 344 é  $\hat{Y}_i = 1.6635 + 0.6968 LC$ .

**Palavras-chave:** Dimensão foliar. Equação de área foliar. *Macadamia integrifolia*. Métodos não destrutivos.

**Abstract:** Measurement of leaf area is required in various agronomic studies, as it is one of the key measurements for evaluating the growth of plants. The aim of the present study therefore, was to determine the statistical models that best describe leaf area in the macadamia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344, from linear dimensions of the length and width of the blade. An experiment was carried out in a completely randomised design, in a scheme of split lots with five replications. Each lot comprised the cardinal points (north, south, east and west) of one plant, with the sub-lots comprising three positions on the plant (the lower, middle and upper third). The leaf area was measured using the ImageJ<sup>®</sup> public-domain software, by analysis of scanned images of the leaves. Equations were estimated from 600 leaves with linear and nonlinear regression models. The resulting equations, together with another four equations quoted in the literature for other cultivars, were validated with a sample of 200 leaves. Statistical modelling of the leaf area in adult plants of the Macadamia cv. HAES 344 can be done using leaves taken from any of the four cardinal points or three heights of the plant. Leaf area is determined by the product of the length (L) and the maximum width (W) of the leaves as an independent variable. The suggested equation for determining leaf area in leaves of adult plants of the Macadamia cv. HAES 344 is  $\hat{Y}_i = 1.6635 + 0.6968 WL$ .

**Key words:** Leaf dimensions. Equation for leaf area. *Macadamia integrifolia*. Non-destructive methods.

\*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 18/03/2016 e aprovado em 04/09/2016

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, CEUNES/UFES, Rodovia BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, São Mateus - ES, CEP: 29932-540, e-mail: e.romais.s@gmail.com

<sup>2</sup>Eng<sup>a</sup>. Agrônoma, Mestranda em Agricultura Tropical, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, CEUNES/UFES, São Mateus, ES, e-mail: layaneoliari@gmail.com

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, D. Sc. Bolsista PNPd/CAPES, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, CEUNES/UFES, São Mateus, ES, e-mail: omarschmildt@gmail.com

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, D. Sc., Prof. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, CCA/UFES, Jerônimo Monteiro, ES, e-mail: rodrigossobreiraalexandre@gmail.com

<sup>5</sup>Eng. Agrônomo, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, CEUNES/UFES, São Mateus, ES, e-mail: jadson.orion@hotmail.com

<sup>6</sup>Eng. Agrônomo, Mestrando em Agricultura Tropical, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, CEUNES/UFES, São Mateus, ES, e-mail: d.gomesviana@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

A noqueira macadâmia (*Macadamia integrifolia*), pertencente à família botânica Proteaceae, é uma planta arbórea cuja nós é considerada a mais saborosa das nozes consumidas no mundo. Originária de clima de floresta tropical, essa cultura vem se desenvolvendo melhor em clima subtropical (PIMENTEL, 2007). Seu centro de origem compreende as províncias de New South Wales e Queensland, na Austrália, onde é encontrada em florestas naturais. Embora de origem australiana, a macadâmia teve maior desenvolvimento tecnológico no Hawaii, de onde saíram as principais variedades e clones plantados no mundo (MCFADYEN, 2012).

O primeiro relato de plantio dessa espécie no Brasil data de 1931 (PIMENTEL, 2007), mas foi a partir do final da década de 1990 que seu cultivo comercial se tornou expressivo. Os estados de São Paulo, Espírito Santo e Minas Gerais responderam por 74% da área plantada em 2013 (PIZA; MORYA, 2014).

Como o plantio comercial da cultura é relativamente recente no Brasil, estudos e dados técnicos são escassos, dentre esses, estudos relacionados à área foliar. As folhas assumem funções importantes na planta, tais como: interceptar e absorver a luz, realizar fotossíntese, trocas gasosas e transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2009; SPANN; HEEREMA, 2010), sendo, por isso, a área foliar importante, pois pode ser empregada como indicadora de produtividade (PEKSEN, 2007).

A eficiência fotossintética depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, as quais, entre outros aspectos, são influenciadas pelas características da arquitetura da copa e da dimensão do sistema fotoassimilador (LEONG, 1980). Assim, a superfície foliar de uma planta é a base do rendimento potencial da cultura, além disso, o conhecimento da área foliar permite a estimativa da perda de água (PEREIRA *et al.*, 1997).

A área foliar pode ser determinada de forma não destrutiva, empregando planímetros portáteis e por equações previamente estabelecidas por estudos de modelagem estatística da área foliar (DEMIRSOY, 2009).

A modelagem estatística, a partir de medidas alométricas de comprimento, largura e do produto entre essas variáveis, tem sido investigada para diversas frutíferas, sendo os estudos mais recentes para citrus (MAZZINI *et al.*, 2010), manga (LIMA *et al.*, 2012), maracujá (MORGADO *et al.*, 2013) e abacaxi (FRANCISCO *et al.*, 2014).

Estudos de modelagem para área foliar de macadâmia foram realizados para a cultivar Kakea (CORMACK; BATE, 1975b; KOBAYASHI; UEUNTEN, 1984) e Keaau (CORMACK; BATE, 1975a; KOBAYASHI; UEUNTEN, 1984), não havendo registro para ‘HAES 344’. Essa cultivar se mostrou superior em produtividade de amêndoas em estudos de competição de cultivares realizados por Entelmann *et al.* (2014).

Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho determinar os modelos estatísticos que melhor descrevem a área foliar de macadâmia cv. HAES 344, a partir de dimensões lineares de comprimento e largura do limbo, bem como comparar os modelos obtidos com os da literatura para outras cultivares.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em pomar de macadâmia, cultivar HAES 344, localizado no município de São Mateus-ES, nas seguintes coordenadas: latitude 18°41'40.48" S e longitude 39°59'49.97" e altitude de 71 m. O clima local é classificado como Aw, de acordo com a classificação de Köppen.

O espaçamento entre plantas é de 6 x 8 m, no sentido Norte-Sul com 208 plantas ha<sup>-1</sup> e idade de 22 anos.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, com cinco repetições. Cada ponto cardeal de uma planta (norte, sul, leste e oeste) foi designado de parcela, enquanto cada posição da planta (terço inferior, terzo médio e terzo superior) como subparcela. A unidade experimental foi constituída de uma planta, tomada aleatoriamente. Na subparcela, foram amostradas 10 folhas maduras, retiradas em partes equidistantes no ramo e com a maior variação de tamanhos possível. Ao todo foram coletadas 600 folhas adultas e sem danos para estimar as equações de regressão.

Em fevereiro de 2013, as folhas foram coletadas no período da manhã, sendo amostradas plantas sadias. As amostras foram identificadas de acordo com o tratamento, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para laboratório. Nas amostras foram avaliados: comprimento e largura, empregando-se régua milimétrica metálica. O comprimento do limbo foliar (C, em cm) foi considerado como a distância entre a base distal do pecíolo ao ápice foliar, e a largura do limbo (L, em cm) correspondeu à maior distância no sentido perpendicular ao comprimento da folha. Para cada folha determinou-se a área foliar observada (AFO, em cm<sup>2</sup>), por intermédio de imagens digitais, com resolução de 75 dpi, no formato tif, em scanner HP Deskjet Ink Advantage 3516. As imagens foram processadas pelo Software ImageJ® (Powerful Image Analysis), de domínio público (COLLINS, 2007). O software captura a imagem de uma folha completa obtida por scanner e, por meio de procedimentos de contraste de cores (sendo a folha de cor escura e fundo contrastante de cor branca) e comparando com a escala real presente, calcula a AFO.

Após análise de variância dos dados das variáveis C, L e AFO, procedeu-se à modelagem estatística para estimativa das equações de regressão. Para modelar a AFO (variável dependente  $\hat{Y}_i$ ) em função do C e da L ou do C x L (CL) como variáveis independentes  $X_i$ , obtiveram-se equações

para os modelos de regressão linear múltipla com a técnica stepwise, linear  $\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$ , potência  $\hat{Y}_i = \beta_0 X_i^{\beta_1}$  e exponencial  $\hat{Y}_i = \beta_0 \beta_1^{X_i}$ , totalizando dez equações estimadas. Os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$  foram estimados pelo método dos mínimos quadrados, tendo sido feita previamente a linearização das funções potência e exponencial.

Além das equações obtidas nesse trabalho, foram usadas na modelagem estatística mais quatro equações, detectadas na literatura, quais sejam: equação pelo modelo linear usando CL, para ‘Kakea’, segundo Cormack e Bate (1975b); equação pelo modelo linear usando CL, para ‘Keaau’, segundo Cormack e Bate (1975a); equação pelo modelo de regressão linear múltipla, com técnica stepwise, testando C, L e CL, para ‘Kakea’ e para ‘Keaau’, segundo Kobayashi e Ueunten (1984).

A validação das equações de estimativa de área foliar foi realizada com base nos valores estimados pelo modelo ( $\hat{Y}_i$ ), e os valores observados ( $Y_i$ ) em 200 folhas colhidas aleatoriamente em outras cinco árvores da cv. HAES 344 três semanas após a coleta das folhas para modelagem. Em cada modelo, inicialmente, foi ajustada uma regressão linear simples ( $\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 Y_i$ ) da área foliar estimada pelo modelo (variável dependente) em função da área foliar observada (variável independente). Foram testadas as hipóteses  $H_0 : \beta_0 = 0$  versus  $H_a : \beta_0 \neq 0$  e  $H_0 : \beta_1 = 0$  versus  $H_a : \beta_1 \neq 1$ , por meio do teste *t* de Student a 5% de probabilidade de erro. Determinou-se também o erro absoluto médio (EAM), a raiz do quadrado médio do erro (RQME), o índice *d* de Willmott (WILLMOTT, 1981) e a representação gráfica do erro médio da área estimada em relação à área observada ( $\bar{E}$ ) como sugerido por Kandianan *et al.* (2009), sendo dados por:

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i|}{n}, \quad RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}},$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{Y}_i - \bar{Y}| + |Y_i - \bar{Y}|)^2} \right], \quad \bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)}{n}$$

Em que:  $\hat{Y}_i$  são os valores estimados de área foliar;  $Y_i$  são os valores observados de área foliar;  $\bar{Y}$  é a média dos valores observados; *n* é o número de folhas.

Os critérios utilizados para a seleção das equações que melhor estimaram a área foliar em função de C, L ou CL foram: coeficiente linear ( $\beta_0$ ) não diferente de zero, coeficiente angular ( $\beta_1$ ) não diferente de um, EAM, RQME e ( $\bar{E}$ ) mais próximos de zero, e índice *d* Willmott (WILLMOTT, 1981) mais próximo de 1. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel (LEVINE *et al.*, 2012) e do *software* Genes (CRUZ, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância dos fatores em estudo em folhas de macadâmia cv. HAES 344, para medidas alométricas do limbo foliar (C: comprimento da nervura central; L: maior largura) e área foliar observada (AFO), são apresentados na Tabela 1. Verifica-se que não houve diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ) entre as médias das variáveis para os pontos cardeais e posição na planta, nem para a interação entre esses fatores. O experimento pode ser considerado de boa precisão, pois apresentou coeficientes de variação entre 7 e 17%, considerados baixo e médio, segundo critério de Pimentel Gomes (2009).

A inexistência de diferença estatística significativa implica em dizer que, em média, não há diferença detectável entre as folhas nos diferentes pontos cardeais da planta e nem entre as folhas nas várias posições de altura das plantas. A área foliar variou entre 9,24 e 97,71 cm<sup>2</sup> (Tabela 1). Com base nesses resultados, a análise de modelagem estatística foi realizada empregando as 600 folhas.

As equações obtidas, bem como as encontradas na literatura, são apresentadas na Tabela 2. Verifica-se que, de forma geral, houve bom ajuste entre a AFO e as medidas alométricas, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superior a 95%, quando se usou comprimento vezes a maior largura (CL), como variável independente no modelo usando regressão linear múltipla com a técnica stepwise (equação 5), modelo linear simples (equação 8) e modelo potência (equação 11). Os ajustes de AFO em função de C e de L não se mostraram apropriados, pois apresentaram menores valores  $R^2$ , em torno de 80 e 70%, respectivamente, semelhante ao verificado por Francisco *et al.* (2014) na modelagem de folhas de abacaxi. Deve-se atentar, no entanto, que um modelo não deve ser selecionado unicamente pelo elevado valor de  $R^2$ , sendo apropriada a adoção de medidas de validação (FASCELLA *et al.*, 2013).

Ao se fazer a validação a partir da amostra de 200 folhas de ‘HAES 344’, verificou-se que, das equações avaliadas, apenas quatro foram adequadas (equações 3, 5, 8 e 11), de acordo com o critério de coeficiente linear estatisticamente igual a zero e coeficiente angular estatisticamente igual a um (Tabela 3). Estas equações selecionadas, também, foram consideradas apropriadas em razão dos critérios de menores valores do erro absoluto médio (EAM) e da raiz do quadrado médio do erro (RQME) e os valores do índice *d* de Willmott mais próximos da unidade (WILLMOTT, 1981). No entanto, quando se avaliou o erro médio, a equação, segundo Kobayashi e Ueunten (1984) (Equação 3), não se mostrou adequada pelo erro estatisticamente maior do que o erro apresentado a partir das outras três equações (Figura 1).

Considerando a facilidade de interpretação, recomenda-se o uso da equação linear  $\hat{Y}_i = 1.6635 + 0.6968CL$  (Tabela 2, Figura 2A), cuja linha de adequação (linha 1:1) é apresentada na Figura 2B. Essa equação é

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância e estatística descritiva para comprimento (C, cm), largura máxima (L, cm) e área foliar observada (AFO, cm<sup>2</sup>), em folhas retiradas nos quatro pontos cardeais e em três posições de plantas adultas de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344

**Table 1-** Summary of the analysis of variance and descriptive statistics for length (L, cm), maximum width (W, cm), and observed leaf area (OLA, cm<sup>2</sup>) in leaves taken from the four cardinal points and three positions in adult plants of the macadamia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio		
		C	L	AFO
Pontos cardeais (PC)	3	1,8412 <sup>ns</sup>	0,2260 <sup>ns</sup>	22,9373**
Erro a	16	2,0329	0,1871	35,4082
Posição (P)	2	5,9639 <sup>ns</sup>	0,0092 <sup>ns</sup>	93,9049**
PC x P	6	2,5006 <sup>ns</sup>	0,1369 <sup>ns</sup>	54,2571**
Erro b	32	2,5660	0,0671	36,8566
<b>Média</b>		<b>13,24</b>	<b>3,56</b>	<b>35,43</b>
CV <sub>Parcela</sub> (%)		10,77	12,15	16,81
CV <sub>Subparcela</sub> (%)		12,10	7,27	17,15
Estatística descritiva				
Máximo <sub>folha individual</sub>		22,50	6,80	97,71
Mínimo <sub>folha individual</sub>		5,90	1,10	9,24
CV <sub>folha individual</sub> (%)		22,85	20,61	37,44

\*\* Significativo a níveis de 1% (teste F) e ns Não significativo, CV – coeficiente de variação.

\*\* Significant at 1% (F-test) and ns Not significant, CV - coefficient of variation.

**Tabela 2** - Equações de regressão estimadas e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>, em %) da área foliar, em função das medidas lineares do limbo foliar de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344

**Table 2-** Estimated regression equations and coefficients of determination (R<sup>2</sup>, %) of leaf area, for linear measurements of the leaf blade in the macadamia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344

Equação	Autoria <sup>(1)</sup>	Equação estimada <sup>(2)</sup>	R <sup>2</sup>
1	CB <sub>(K1)</sub>	$\hat{Y}_i = 0,55 + 0,74CL$	-
2	CB <sub>(K2)</sub>	$\hat{Y}_i = -1,39 + 0,79CL$	-
3	KU <sub>(K1)</sub>	$\hat{Y}_i = -3,25 + 0,67L + 0,60CL$	-
4	KU <sub>(K2)</sub>	$\hat{Y}_i = 0,91 + 1,34CL - 0,09C^2 - 1,24L^2$	-
5		$\hat{Y}_i = -1,0453 + ,04408C + 0,6322CL$	96,18
6		$\hat{Y}_i = -16,8861 + 3,9510C$	81,39
7		$\hat{Y}_i = -19,2962 + 15,3988L$	72,91
8		$\hat{Y}_i = 1,6635 + 0,6968CL$	95,99
9		$\hat{Y}_i = 0,6052 + C^{1,5627}$	85,01
10		$\hat{Y}_i = 4,5788 + L^{1,5830}$	74,24
11		$\hat{Y}_i = 0,8943 + (CL)^{0,9481}$	96,05
12		$\hat{Y}_i = 6,7739(1,1267)^C$	80,86
13		$\hat{Y}_i = 6,2370(1,15964)^L$	73,29
14		$\hat{Y}_i = 12,2595(1,0205)^{CL}$	89,26

<sup>(1)</sup>equações [CB(K1) = Cormack e Bate (1975b) para a variedade Kakea; CB(K2) = Cormack e Bate (1975a) para a variedade Keaau; KU(K1) = Kobayashi e Ueunten (1984) para a variedade Kakea; KU(K2) = Kobayashi e Ueunten (1984) para a variedade Keaau. <sup>(2)</sup> em que C e L correspondem a comprimento e maior largura do limbo foliar.

<sup>(1)</sup>equations [CB(K1)= Cormack e Bate (1975b) for the Kakea variety; CB(K2) = Cormack e Bate (1975a) for the Keaau variety; KU(K1) = Kobayashi e Ueunten (1984) for the Kakea variety; KU(K2) = Kobayashi e Ueunten (1984) for the Keaau variety. <sup>(2)</sup> where L and W represent the length and greatest width of the leaf blade.

**Tabela 3** - Coeficientes linear ( $\hat{\beta}_0$ ), angular ( $\hat{\beta}_1$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ , em %), obtidos na regressão ajustada entre a área foliar estimada (variável dependente) e a observada (variável independente), erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice de Willmott (WILLMOTT, 1981), calculados com base nas áreas foliares estimadas e observadas, de 200 folhas de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344

**Table 3**- Linear coefficient ( $\hat{\beta}_0$ ); angular ( $\hat{\beta}_1$ ) coefficient and coefficient of determination ( $R^2$ , %), obtained with the adjusted regression between the estimated leaf area (dependent variable) and the observed leaf area (independent variable); mean absolute error (MAE); root mean square error (RMSE) and Willmott index (WILLMOTT, 1981), calculated based on estimated and observed leaf area in 200 leaves of the macadamia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344

Equação	Autoria <sup>(1)</sup>	$\hat{\beta}_0$ <sup>(2)</sup>	$\hat{\beta}_1$ <sup>(3)</sup>	$R^2$	EAM	RQME	d
1	CB <sub>(K1)</sub>	-0,8398 <sup>ns</sup>	1,0511 <sup>**</sup>	96,59	2,1066	2,7369	0,9886
2	CB <sub>(K2)</sub>	-2,8737 <sup>**</sup>	1,1221 <sup>**</sup>	96,59	2,5797	3,4242	0,9834
3	KU <sub>(K1)</sub>	-0,2620 <sup>ns</sup>	0,9835 <sup>ns</sup>	96,88	1,7327	2,3671	0,9909
4	KU <sub>(K2)</sub>	-0,6965 <sup>ns</sup>	0,9522 <sup>**</sup>	96,24	2,7394	3,4388	0,9803
5		0,4746 <sup>ns</sup>	0,9843 <sup>ns</sup>	96,86	1,6237	2,2153	0,9920
6		7,3794 <sup>**</sup>	0,7740 <sup>**</sup>	84,66	4,0385	5,0477	0,9497
7		8,4532 <sup>**</sup>	0,7846 <sup>**</sup>	76,11	5,0009	6,1115	0,9295
8		0,3546 <sup>ns</sup>	0,9896 <sup>ns</sup>	96,59	1,7349	2,3141	0,9913
9		5,7128 <sup>**</sup>	0,8049 <sup>**</sup>	84,74	4,0444	5,0965	0,9507
10		7,5459 <sup>**</sup>	0,7900 <sup>**</sup>	76,80	4,8851	5,9973	0,9323
11		0,5323 <sup>ns</sup>	0,9816 <sup>ns</sup>	96,60	1,7142	2,3058	0,9913
12		4,0970 <sup>**</sup>	0,8410 <sup>**</sup>	83,07	4,3030	5,4004	0,9472
13		4,5361 <sup>**</sup>	0,8790 <sup>**</sup>	75,49	5,1229	6,4067	0,9306
14		-4,3144 <sup>**</sup>	1,1104 <sup>**</sup>	91,91	2,8643	4,3281	0,9735

<sup>(1)</sup>equações [CB(K1) = Cormack e Bate (1975b) para a variedade Kakea; CB(K2) = Cormack e Bate (1975a) para a variedade Keaau; KU(K1) = Kobayashi e Ueunten (1984) para a variedade Kakea; KU(K2) = Kobayashi e Ueunten (1984) para a variedade Keaau.

<sup>(2)</sup> ns Coeficiente linear não difere de zero, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade de erro. \*\* coeficiente angular difere de zero, pelo teste t, em nível de 1% de probabilidade de erro.

<sup>(3)</sup> ns Coeficiente angular não difere de um, pelo teste t, em nível de 5% de probabilidade de erro. \*\* coeficiente angular difere de um, pelo teste t, em nível de 1% de probabilidade de erro.

<sup>(1)</sup>equations [CB(K1)= Cormack e Bate (1975b) for the Kakea variety; CB(K2) = Cormack e Bate (1975a) for the Keaau variety; KU(K1) = Kobayashi e Ueunten (1984) for the Kakea variety; KU(K2) = Kobayashi e Ueunten (1984) for the Keaau variety.

<sup>(2)</sup>ns linear coefficient does not differ from zero by t-test at 5% probability. \*\* Angular coefficient differs from zero by t-test at 1% probability.

<sup>(3)</sup>ns angular coefficient does not differ from zero by t-test at 5% probability. \*\* Angular coefficient differs from 1 by t-test at 1% probability.

distinta da verificada por Cormack e Bate (1975b) para a cultivar Kakea, e por Cormack e Bate (1975a) para a cultivar Keaau, que também usaram CL como variável independente (Tabela 2).

Ressalta-se que, uma vez determinada a equação de regressão, o seu uso adequado para estimação não deve incluir valores que extrapolem os valores usados para

determinar a equação (LEVINE *et al.*, 2012). Assim, a equação  $\hat{Y}_1 = 1.6635 + 0.6968CL$  somente deve ser empregada para a cultivar ‘HAES 344’ e em folhas com comprimento entre 5,90 e 22,50 cm e maior largura entre 1,10 e 6,80 cm (Tabela 1), sendo essas amplitudes abrangentes, certamente, incluirá a maioria das folhas maduras dessa cultivar.

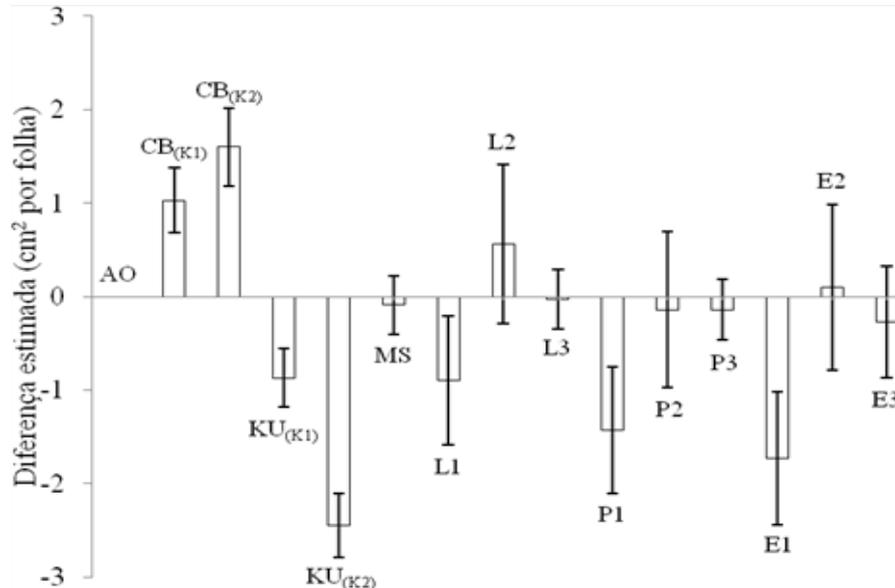


Figura 1 - Erro médio da área estimada em relação à área observada na validação em folhas individuais de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344.

Área foliar foi estimada com amostra de 200 folhas [CB(K1) = Cormack e Bate (1975b) para a variedade Kakea; CB(K2) = Cormack e Bate (1975a) para a variedade Keaau; KU(K1) = Kobayashi e Ueunten (1984) para a variedade Kakea; KU(K2) = Kobayashi e Ueunten (1984) para a variedade Keaau; MS = regressão linear múltipla com técnica stepwise proposta; L1, L2 e L3 = lineares propostos; P1, P2 e P3 = potências propostos; E1, E2 e E3 = exponenciais propostos. Os índices 1, 2 e 3 indicam comprimento, largura e comprimento x largura, respectivamente, sendo AO = área observada]. Barras verticais indicam médias e linhas verticais indicam intervalo de confiança de 95%.

Figure 1 - Mean error of estimated area relative to area observed in validation, in individual leaves of the macadamia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344.

Leaf area estimated in a sample of 200 leaves. [CB(K1)= Cormack e Bate (1975b) for the Kakea variety; CB(K2) = Cormack e Bate (1975a) for the Keaau variety; KU(K1) = Kobayashi e Ueunten (1984) for the Kakea variety; KU(K2) = Kobayashi e Ueunten (1984) for the Keaau variety; MS = proposed stepwise multiple linear regression; L1, L2 e L3 = proposed linear values; P1, P2 e P3= proposed power; E1, E2, E3 = proposed exponents. Indices 1, 2 and 3 indicate length, width and length x width respectively, where A = observed area]. Vertical bars indicate mean values and vertical lines indicate a confidence interval of 95%.

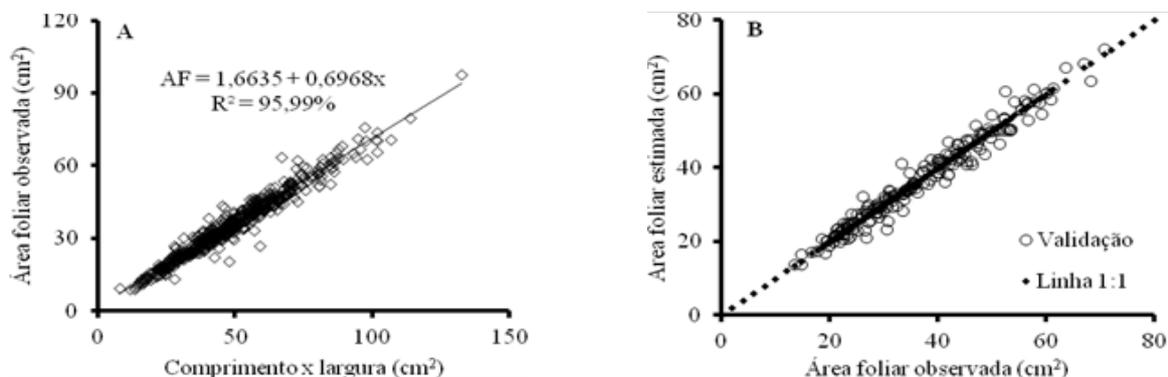


Figura 2 - Representação da área foliar de macadâmia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344 no modelo linear para o produto entre comprimento e maior largura de folhas: A = equação estimada a partir de 600 folhas; B = validação do modelo a partir de 200 folhas.

Figure 2- Representation of leaf area in the macadamia (*Macadamia integrifolia*) cv. HAES 344 by linear model, for the product between leaf length and greatest width: A = equation estimated in 600 leaves; B = model validation with 200 leaves.

## CONCLUSÕES

Estudos de modelagem estatística de área foliar de plantas adultas de macadâmia, cv. HAES 344, podem ser feito amostrando-se folhas maduras de quaisquer dos quatro pontos cardeais e de posições de altura nas plantas;

A área foliar de plantas adultas, cv. HAES 344, pode ser obtida com uso do produto do comprimento (C) pela máxima largura (L) das folhas adultas, como variável independente;

A equação de determinação de área foliar indicada para folhas adultas de plantas adultas de macadâmia, cv. HAES 344, é  $\hat{Y}_i = 1.6635 + 0.6968CL$ .

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsa pós-doutorado, ao laboratório de melhoramento de plantas da Universidade Federal do Espírito Santo e à cooperativa dos produtores de macadâmia (COOPMAC), pela logística na realização da pesquisa.

## LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

COLLINS, T. J. ImageJ for microscopy. **BioTechniques**, v. 43, n. 1, p. 25 - 30, 2007.

CORMACK, D. B.; BATE, G. C. Estimation of leaf area for some commercial macadamia cultivars. 1. Measurement of leaf parameters. **Rhodesian Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 2, p. 123 - 129, 1975a.

CORMACK, D. B.; BATE, G. C. Methods of estimating leaf area from linear measurements of the *Macadamia integrifolia* cultivar Kakea. **Rhodesian Journal of Agricultural Research**, v. 13, p. 45 - 53, 1975b.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271 - 276, 2013.

DEMIRSOY, H. Leaf area estimation in some Species of fruit tree by using models as non-destructive method. **Fruits**, v. 64, n. 1, p. 45 - 51, 2009.

ENTELMANN, F. A.; SCARPARE FILHO, J. A.; PIO, R.; SILVA, S. R.; SOUZA, F. B. M. Produção e atributos de qualidade de cultivares de macadâmia no sudoeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 192 - 198, 2014.

FASCELLA G.; DARWICH S.; ROUPHAEL Y. Validation of a leaf area prediction model proposed for rose. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 73, n. 1, p. 73 - 76, 2013.

FRANCISCO, J. P.; DIOTTO, A. V.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, L. D. B.; PIEDADE, S. M. S. Estimativa da área foliar do abacaxizeiro cv. Vitória por meio de relações alométricas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 285 - 293, 2014.

KANDIANNAN, K.; PARTHASARATHY, U.; KRISHNAMURTHY, K.S.; THANKAMANI, C.K. SRINIVASAN, V. Modeling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width. **Scientia Horticulturae**, v. 120, p. 532 - 537, 2009.

KOBAYASHI K.D.; UEUNTEN G.R. Estimating leaf area for 'Kakae' and 'Keauu' macadamia [Cultivars, testing models, linear dimensions]. **HortScience**, v. 19, n. 3, p. 413 - 415, 1984.

LEONG, W. **Canopy modification and its effects on the growth and yield of *Hevea brasiliensis* Muell.** 1980. 283 f. Tese (Ph. D) - Faculty of Agriculture Sciences of Ghent.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; KREHBIEL, T. C.; STEPHAN D. **Estatística: teoria e aplicações usando Microsoft Excel em português.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2012. 832p.

LIMA, R. T.; SOUZA, P. J. O. P.; RODRIGUES, J. C.; LIMA, M. J. A. Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 974 - 980, 2012.

MAZZINI, R. B.; RIBEIRO, R. V.; PIO, R. M. A simple and non-destructive model for individual leaf area estimation in citrus. **Fruits**, v. 65, n. 5, p. 269 - 275, 2010.

MCFADYEN, L. M.; ROBERTSON, D.; SEDGLEY, M.; KRISTIANSEN, P.; OIESEN, T. Effects of the ethylene inhibitor aminoethoxyvinylglycine (AVG) on fruit abscission and yield on pruned and unpruned macadamia trees. **Scientia Horticulturae**, v. 137, p. 125 - 130, 2012.

MORGADO, M. A. D.; BRUCKNER, C. H.; ROSADO, L. D. S.; ASSUNÇÃO, W.; SANTOS, C. E. M. Estimação da área foliar por método não destrutivo, utilizando medidas lineares das folhas de espécies de *Passiflora*. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 662 - 667, 2013.

PEKSEN, E. Non-destructive leaf area estimation model for fava bean (*Vicia faba* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 113, n. 4, p. 322 - 328, 2007.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fealq, 1997. 183p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451p.

PIMENTEL, L. D. A cultura da macadâmia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 414 - 416, 2007.

PIZA, P. L. B. T.; MORYA, L. M. Cultivo da macadâmia no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 39 - 45, 2014.

SPANN, T. M.; HEEREMA, R. J. A simple method for nondestructive estimation of total shoot leaf area in tree fruit crops. **Scientia Horticulturae**, v. 125, n. 3, p. 528 - 533, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p. 184 - 194, 1981.