

## MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DE ESPÉCIES E CULTIVARES DE CAFÉ UTILIZANDO DIMENSÕES LINEARES

**Jeangelis Silva Santos<sup>1</sup>, Rogério Rangel Rodrigues<sup>2</sup>, Edílson Romais Schmidt<sup>3</sup>, José Augusto Teixeira do Amaral<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>UFES/Acadêmico de Engenharia Florestal, CEP 29500-000, Alegre-ES, jeangelis@gmail.com.

<sup>2</sup>UFES/Acadêmico de Agronomia, CEP 29500-000, Alegre-ES, rogeriorr7@hotmail.com.

<sup>3</sup>UFES/CEUNES, Rodovia BR 101 Norte, Km. 60, CEP 29932-540, São Mateus-ES, edilson@npd.ufes.br.

<sup>4</sup>UFES/CCA, Alto Universitário, CEP 29500-000, Alegre-ES, jata@cca.ufes.br.

**Resumo-** A mensuração da área foliar é requerida em vários estudos agrônômicos. Para tanto existem vários métodos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método não destrutivo para estimativa da área foliar, utilizando-se modelos matemáticos calculados a partir das dimensões lineares (comprimento e largura máximos) das folhas. Foram utilizadas nos estudos as espécies *Coffea arabica* L. cv. *Catuai*, Híbrido *Catucaí*, *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cv. *Conilon Vitória* e as variedades clonais EMCAPA 8111 (Precoce), EMCAPA 8121 (Intermediário), EMCAPA 8131 (Tardio) e EMCAPA 8141 (Robustão capixaba). Os resultados alcançados neste estudo permitem concluir que o modelo linear é o que melhor expressa a estimativa da área foliar e dentre as diferentes variáveis independentes adotadas, o retângulo circunscrito à folha (C.L) foi a que proporcionou maiores significâncias e maiores coeficientes de correlação ( $R^2$ ).

**Palavras-chave:** Café; superfície foliar; área foliar; modelo matemático.

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias

### Introdução

O Café é uma importante fonte de renda para a economia brasileira, pela sua participação na receita cambial, pela transferência de renda aos outros setores da economia, pela contribuição à formação de capital no setor agrícola do país, além da expressiva capacidade de absorção de mão-de-obra (EMBRAPA, 2001). Devido à grande importância do café para a economia brasileira e também mundial, há necessidade de se empreender estudos envolvendo aspectos relacionados ao crescimento e desenvolvimento, de modo a conhecer todo o seu potencial produtivo.

Na maioria desses estudos, o conhecimento da área foliar é fundamental, por ser um dos mais importantes parâmetros na avaliação do crescimento vegetal. Em virtude de estar ligada ao incremento de matéria seca, permite avaliar parâmetros fisiológicos, tais como intensidade de transpiração, taxa assimilatória líquida, razão de área foliar, área foliar específica e índice de área foliar.

A área foliar de uma planta ou de uma comunidade vegetal pode ser mensurada com a utilização de diversos equipamentos. Dentre eles a medida direta da lâmina foliar, em folhas não destacadas, utilizando-se um medidor portátil de área foliar (BENINCASA, 2003), planimetria fotoelétrica, planimetria fotográfica fotoelétrica, planimetria com radiação e fotografia hemisférica (KVET e MARSHALL, 1971). Já em folhas

destacadas a avaliação da área pode ser feita com o medidor de área foliar, o uso de planímetro ou pelo método gravimétrico (KVET e MARSHALL, 1971; BENINCASA, 2003; AMARAL et al., 2009). Entretanto, os métodos destrutivos apresentam o inconveniente de não se aplicarem quando o número de repetições ou a quantidade de amostras é limitada, quando se deseja avaliar outras características além da área foliar, quando se deseja avaliar a periodicidade de crescimento ao longo do tempo na mesma folha, bem como são consumidores de tempo. Em contraste, os métodos não-destrutivos poupam as amostras e, com a utilização de equipamentos modernos, são rápidos e precisos. Todavia, em virtude do custo oneroso, esses equipamentos nem sempre são de fácil aquisição.

Os modelos matemáticos que relacionam as medidas lineares da folha e sua área real para estimar a área foliar (BARROS et al., 1973; BENINCASA, 2003; BIANCO et al., 2003; AMARAL et al., 2009) são um método não destrutivo, de boa precisão e baixo custo, eliminando a necessidade de medidores de área foliar caros ou a realização de demoradas reconstruções geométricas (GAMIELY et al., 1991). Sendo assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver modelos matemáticos para estimar a área foliar de espécies e cultivares de café a partir das dimensões lineares (comprimento e largura máximos) das folhas.

## Metodologia

O trabalho foi conduzido com as espécies *Coffea arábica* L. cv. *Catuaí*, o híbrido *Catuaí*, *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cv. *Conilon Vitória* e as variedades clonais EMCAPA 8111 (Precoce), EMCAPA 8121 (Intermediário), EMCAPA 8131 (Tardio) e EMCAPA 8141 (Robustão capixaba), plantadas na área experimental do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER) e Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo, ambos no estado do Espírito Santo. As espécies foram identificadas e as folhas colhidas, acondicionadas em sacos plásticos, e transferidas para o laboratório de Ecologia Florestal do Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC), CCA/UFES.

Nas amostragens foram colhidas 100 folhas de 20 plantas de cada espécie ou variedade, conforme sugerido por Benincasa (2003). Em cada planta amostrada foram coletadas folhas em todos os estádios de desenvolvimento, que não apresentassem danos ou ataque de doenças ou pragas. Na análise de variância foi considerado o delineamento inteiramente casualizado.

A área foliar real foi estimada por intermédio de um medidor eletrônico de área foliar da marca LI-COR, modelo LI-3100. Para tanto, o medidor foi calibrado utilizando um quadrado de papel de área

conhecida (100cm<sup>2</sup>), o qual foi comparado com o valor fornecido pelo aparelho. Após a determinação da área foliar real, foram feitas as medições das folhas relativas às maiores larguras, geralmente na posição mediana do limbo, perpendicularmente às linhas dos maiores comprimentos, bem como os maiores comprimentos sobre a nervura principal, considerando o ponto de inserção do limbo no pecíolo até o ápice (AMARAL et al., 2009). Para tanto se utilizou um paquímetro digital da marca Digimess. Em seguida foram feitos os estudos de regressão para escolha da equação para estimativa da área foliar de cada espécie. Considerou-se o maior comprimento, a maior largura e o produto do comprimento pela largura como variáveis independentes e a área foliar real, calculada através do medidor de área foliar, como variável dependente. Para realizar as regressões foi utilizado o software estatístico GENES da Universidade Federal de Viçosa (CRUZ, 2006).

## Resultados

A análise de variância, os modelos matemáticos e respectivos valores dos coeficientes de correlação (R<sup>2</sup>), calculados em função do maior comprimento, maior largura e do retângulo circunscrito à folha, para a estimativa da área foliar das espécies em estudo, encontram-se nas tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Tabela 1. Análise de variância da regressão para o Precoce.

FV	GL	QM		
		Comprimento (C)	Largura (L)	Produto C.L
Regressão	2	29551,87059 **	31847,01552 **	34788,24211 **
Grau 1	1	57977,57157 **	61855,91807 **	69457,99729 **
Grau 2	1	1126,16962 **	1838,11297 **	118,48693 *
Desvio	97	133,01207	85,68949	25,04564
Equação		$\hat{Y} = -65,5948 + 8,7895X_i$	$\hat{Y} = -50,0582 + 19,0453X_i$	$\hat{Y} = -0,4287 + 0,6987X_i$
R <sup>2</sup>		80,31%	85,76%	96,42%

ns, \*, \*\* não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 2. Análise de variância da regressão para o Intermediário.

FV	GL	QM		
		Comprimento (C)	Largura (L)	Produto C.L
Regressão	2	16569,94909 **	18855,30755 **	20706,18484 **
Grau 1	1	32283,94259 **	37215,63075 **	41411,66976 **
Grau 2	1	855,95559 **	494,98435 **	0,69991 ns
Desvio	97	91,44134	44,32055	6,15813
Equação		$\hat{Y} = -50,3394 + 7,8060X_i$	$\hat{Y} = -38,6434 + 17,1821X_i$	$\hat{Y} = 1,7572 + 0,6743X_i$
R <sup>2</sup>		76,61%	88,47%	98,56%

Tabela 3. Análise de variância da regressão para o Tardio.

FV	GL	QM		
		Comprimento (C)	Largura (L)	Produto C.L
Regressão	2	14604,69340 **	14714,34926 **	18190,45213 **
Grau 1	1	29154,01759 **	29163,02145 **	36372,26968 **
Grau 2	1	55,36920 Ns	265,67707 ns	8,63458 ns
Desvio	97	84,10279	81,84184	10,16962
Equação	Grau 1	$\hat{Y} = -33,8232 + 6,6343X_i$	$\hat{Y} = -44,2519 + 17,7367X_i$	$\hat{Y} = 1,7745 + 0,6728X_i$
R <sup>2</sup>	Grau 1	77,79%	77,82%	97,31%

Tabela 4. Análise de variância da regressão para o Robustão.

FV	GL	QM		
		Comprimento (C)	Largura (L)	Produto C.L
Regressão	2	11570,72182 **	12844,81717 **	14032,72594 **
Grau 1	1	22896,00908 **	25681,20439 **	28064,04674 **
Grau 2	1	245,43457 *	8,42995 ns	1,40513 ns
Desvio	97	59,52764	33,25763	8,76467
Equação	Grau 1	$\hat{Y} = -49,1127 + 7,2643X_i$	$\hat{Y} = -35,7803 + 15,2874X_i$	$\hat{Y} = 0,0401 + 0,6297X_i$
R <sup>2</sup>	Grau 1	78,97%	88,70%	97,02%

Tabela 5. Análise de variância da regressão para o Vitória.

FV	GL	QM		
		Comprimento (C)	Largura (L)	Produto C.L
Regressão	2	21314,75718 **	22562,49759 **	23808,69862 **
Grau 1	1	42293,98785 **	44530,18543 **	47462,57587 **
Grau 2	1	335,52651 *	594,80975 **	154,82137 **
Desvio	97	66,48921	40,76260	15,06773
Equação		$\hat{Y} = -49,4185 + 7,7428X_i$	$\hat{Y} = -48,3962 + 18,8299X_i$	$\hat{Y} = 3,0299 + 0,6796X_i$
R <sup>2</sup>		86,03%	91,78%	96,67%

Tabela 6. Análise de variância da regressão para o Catuaí.

FV	GL	QM		
		Comprimento (C)	Largura (L)	Produto C.L
Regressão	2	14990,51531 **	14720,10530 **	15743,63644 **
Grau 1	1	29836,96808 **	29105,25311 **	31477,54262 **
Grau 2	1	144,06255 **	334,95749 **	9,73026 ns
Desvio	97	19,96095	25,53641	4,43268
Equação		$\hat{Y} = -46,6861 + 7,3270X_i$	$\hat{Y} = -32,8330 + 15,1298X_i$	$\hat{Y} = 2,5404 + 0,6318X_i$
R <sup>2</sup>		93,42%	91,10%	98,61%

Tabela 7. Análise de variância da regressão para o Catucaí.

FV	GL	QM		
		Comprimento (C)	Largura (L)	Produto C.L
Regressão	2	6645,14439 **	7009,76262 **	7445,54238 **
Grau 1	1	13251,56485 **	13984,51744 **	14887,11883 **
Grau 2	1	38,72393 ns	35,00780 ns	3,96592 ns
Desvio	97	21,92956	14,41166	5,42651
Equação		$\hat{Y} = -38,9837 + 6,5512X_i$	$\hat{Y} = -30,6933 + 14,2729X_i$	$\hat{Y} = -0,3251 + 0,6577X_i$
R <sup>2</sup>		85,81%	90,61%	96,53%

Os valores observados e a reta obtida pela equação de regressão linear em função do retângulo circunscrito à folha para as espécies estudadas encontram-se nas figura 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

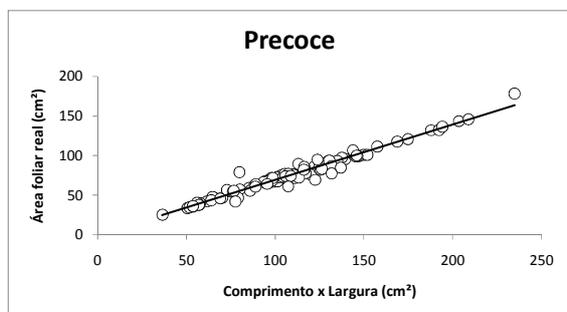


Figura 1. Curva linear de regressão da área foliar real em função do retângulo circunscrito à folha (C.L) para o Precoce.

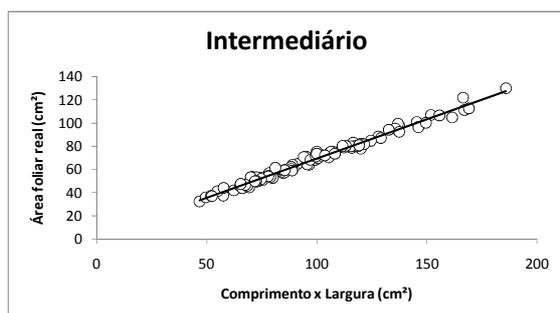


Figura 2. Curva linear de regressão da área foliar real em função do retângulo circunscrito à folha (C.L) para o Intermediário.

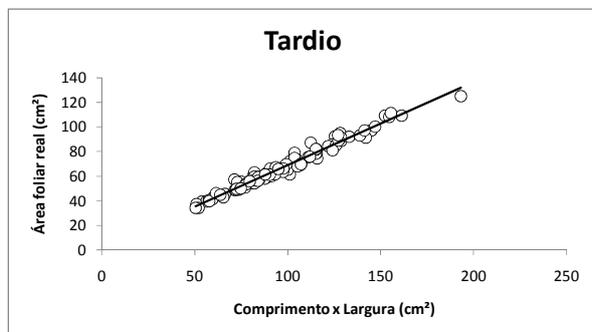


Figura 3. Curva linear de regressão da área foliar real em função do retângulo circunscrito à folha (C.L) para o Tardio.

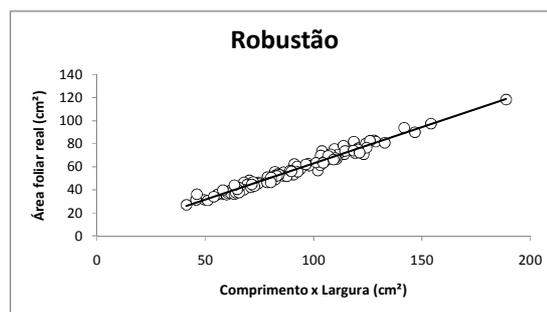


Figura 4. Curva linear de regressão da área foliar real em função do retângulo circunscrito à folha (C.L) para o Robustão.

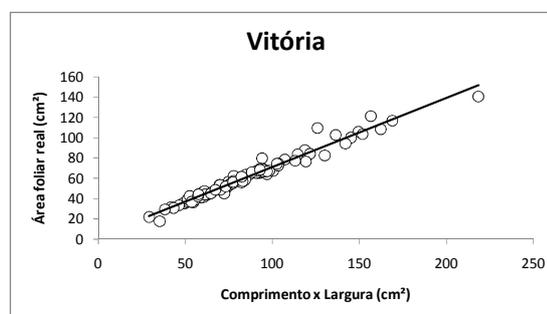


Figura 5. Curva linear de regressão da área foliar real em função do retângulo circunscrito à folha (C.L) para o Vitória.

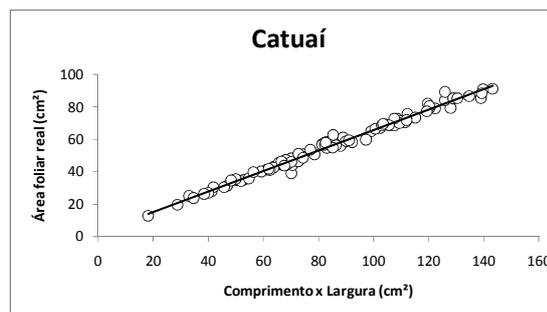


Figura 6. Curva linear de regressão da área foliar real em função do retângulo circunscrito à folha (C.L) para o Catuaí.

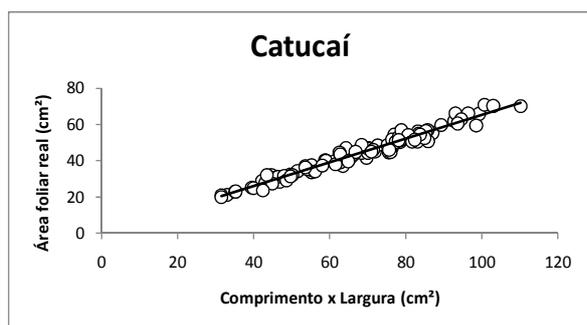


Figura 7. Curva linear de regressão da área foliar real em função do retângulo circunscrito à folha (C.L.) para o Catucaí.

Deste modo, para estimar a área foliar das espécies e cultivares de café ficam estabelecidas as seguintes equações:

Precoce:	$\hat{Y} = -0,4287 + 0,6987(C.L)$
Intermediário:	$\hat{Y} = 1,7572 + 0,6743(C.L)$
Tardio:	$\hat{Y} = 1,7745 + 0,6728(C.L)$
Robustão:	$\hat{Y} = 0,0401 + 0,6297(C.L)$
Vitória:	$\hat{Y} = 3,0299 + 0,6796(C.L)$
Catuaí:	$\hat{Y} = 2,5404 + 0,6318(C.L)$
Catuaí:	$\hat{Y} = -0,3251 + 0,6577(C.L)$

## Discussão

Observando-se os gráficos de dispersão, é possível notar um ajuste quase perfeito entre a área foliar real e o retângulo circunscrito à folha (C.L.) nas espécies estudadas.

As espécies de café normalmente apresentam formas diferenciadas do limbo foliar. Em decorrência dessas variações, podem surgir também diferenças no modelo das equações dentre as espécies. Em alguns casos, as regressões mais representativas da estimativa da área foliar envolveram em conjunto o comprimento e a largura foliar (BIANCO et al., 2003; STRIK; PROCTOR, 1985; PIRES et al., 1999; AWATRAMANI; GOPALAKRISHNA, 1965; BARROS et al., 1973; SEDAR; DEMIRSOY, 2006; RAO et al., 1978; ARAÚJO et al., 2005; ROBBINS; PHARR, 1987). Já em outros trabalhos os melhores resultados ocorreram com a maior largura foliar (LIVY WILLIAMS III & MARTINSON, 2003; NASCIMENTO et al., 2002; QUEIROGA et al., 2003) ou com o maior comprimento ao longo da nervura principal (PEREIRA; SPLITTSTOESSER, 1986; CAMPOSTRINI; YAMANISHI, 2001).

Nas diferentes situações estudadas, o diagrama de dispersão entre a área foliar e o retângulo circunscrito à folha (Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) mostra, de forma direta, que se pode utilizar

um modelo matemático básico de estrutura linear para estimar a área foliar de café. Pode-se constatar que de um modo geral, os maiores coeficientes de correlação ocorreram nas equações de regressão calculadas em função do produto do comprimento pela largura. Esse parâmetro tem se correlacionado muito bem com a área foliar de diversas culturas, conforme constatado por diferentes autores (AWATRAMANI & GOPALAKRISHNA, 1965; BARROS et al., 1973; BIANCO et al., 2003).

## Conclusão

Os resultados alcançados neste estudo permitem concluir que o modelo linear é o que melhor expressa a estimativa da área foliar e dentre as diferentes variáveis independentes adotadas, o retângulo circunscrito à folha (C.L.) foi a que proporcionou maiores significâncias e maiores coeficientes de correlação ( $R^2$ ).

## Referências

- AMARAL, J.A.T. do; AMARAL, J.F.T. do; SCHMILDT, E.R.; COELHO, R.I. Métodos de análise quantitativa do crescimento de plantas. In: FERREIRA et al. (Eds). **Tópicos especiais em produção vegetal I**. Alegre: CCAUFES, 2009. p.259-276.
- ARAÚJO, E. C. E.; SANTOS, E. P. dos; PRADO, C. H. B. de A. Estimativa da área foliar da mangueira (*Mangifera indica* L.) cvs. Tommy Atkins e Haden, utilizando dimensões lineares. **R. Bras. Frutic.**, v. 27, n. 2, p. 308-309, 2005.
- AWATRAMANI, N. A.; GOPALAKRISHNA, H. K. Measurement of leaf in Coffee. II *Coffea robusta*. **Indian Coffee**, v. 29, n. 1, p. 25-30, 1965.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA Filho, L. J. Determinação da área de folhas de café (*Coffea arábica* L. cv. Bourbon Amarelo. **R. Ceres**, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003. 41 p.
- BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; PITELLI, A.M.C.M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **PI. Daninha**, v.20, n.3, p.353-356, 2003.
- CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O.K. Estimation of papaya leaf área using the central vein length. **Sci. Agric.**, v. 58, n. 1, p. 39-42, 2001.

- DARROW, G.M. Methods of measuring strawberry leaf areas. **Plant physiol.**, v. 7, p. 745-747, 1932.
- GAMIELY, S.; RANDLE, W.M.; MILLS, H.A.; SMITTLE, D.A. A rapid and nondestructive method for estimating leaf area of onions. **Hort. Science**, Alexandria, v.26, n.2, p.206, 1991.
- KUMAR, N.; KRISHNAMOORTHY, V.; NALINA, L.; SOORIANATHASUNDHARAM, K. Nuevo factor para estimar el área foliar total en banano. **Infomusa**, v. 11, n. 2, p. 42-43, 2002.
- KVET, J; MARSHALL, J.K. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. In: ŠESTÁK, Z.; ĚATSKY, J.; JARVIS, P.G. **Plant photosynthetic production: manual of methods**. Netherlands: Dr. W. Junk N.V. Publ., 1971. p. 517-555.
- LIVY WILLIAMS, III; MARTINSON, T.E. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. **Sci. Hort.**, v.98, n.4, p.493-498, 2003.
- NASCIMENTO, B.; FARIAS, C.H.A.; SILVA, M.C.C. MEDEIROS, J.F.; SOBRINHO, J.E.; NEGREIROS, M.Z. Estimativa da área foliar do meloeiro. **Hort. Bras.**, v. 20, n. 4, p. 555-558, 2002.
- PEREIRA, J.F.; SPLITTSTOESSER, W.E. A rapid method to estimate leaf area of cassava plants. **HortSci.**, v. 21, n. 5, p. 1218-1219, 1986.
- PIRES, R. C. M. et al. Estimativa da área foliar do morangueiro. **Hort. Bras.**, v. 17, n. 2, p. 86-90, 1999.
- QUEIROGA, J.L.; ROMANO, E.D.U.; SOUZA, J.R.P.; MIGLIORANZA, E. Estimativa da área foliar de feijão vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Hort. Bras.**, v. 21, n. 1, p. 64-68, 2003.
- RAO, G.S.; KHAN, B.H.; CHADHA, K.L. Comparison of methods of estimating leaf-surface area through leaf characteristics in some cultivars of *Mangifera indica*. **Sci. Hort.**, v. 8, p. 341-348, 1978.
- ROBBINS, N.S.; PHARR, M.D. Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements. **HortSci.** v. 22, n. 6, p.1264-1266, 1987.
- SEDAR, Ü; DEMIRSOY, H. Non-destructive leaf area estimation in chestnut. **Sci. Hort.**, v.108, n.2, p.227-230, 2006.
- STRIK, B.C.; PROCTOR, J.T.A. Estimating the area of trifoliate and unequally imparipinnate leaves of strawberry. **HortSci.**, v.20, n.6, p.1072-1074, 1985.