

## ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DE *Crotalaria juncea* L. A PARTIR DE DIMENSÕES LINEARES DO LIMBO FOLIAR

### ESTIMATE OF *Crotalaria juncea* L. LEAF AREA USING LINEAR DIMENSIONS OF THE LEAF BLADE

Nilceu Piffer CARDOZO<sup>1</sup>; Mariana Casari PARREIRA<sup>2</sup>; Carita Liberato do AMARAL<sup>3</sup>; Pedro Luís da Costa Aguiar ALVES<sup>4</sup>; Silvano BIANCO<sup>4</sup>

1. Engenheiro agrônomo, Mestrando em Agronomia (Física do Ambiente Agrícola), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, SP, Brasil. Nilceu.cardozo@terra.com.br; 2. Engenheira agrônoma, Doutoranda em Produção Vegetal, Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – FCAV, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil; 3. Engenheira agrônoma, Mestranda em Produção Vegetal, Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária – FCAV – UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil; 4. Professor Doutor Assistente, Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária - FCAV – UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

**RESUMO:** Conhecimentos sobre a área foliar de uma planta são necessários para estudos agrônômicos e fisiológicos envolvendo crescimento vegetal. O objetivo desse trabalho foi obter um modelo matemático, por meio de medidas lineares dimensionais das folhas, que permita a estimativa da área foliar de *Crotalaria juncea* L. Coletaram-se aleatoriamente 200 folhas dessas plantas para estudo de suas medidas lineares. Estudaram-se as correlações entre a área foliar real (Sf) e as medidas dimensionais do limbo foliar, como o comprimento ao longo da nervura principal (C) e a largura máxima (L), perpendicular à nervura principal. Todas as equações testadas (lineares, exponenciais ou geométricas) permitiram boas estimativas da área foliar (acima de 87%). As equações que apresentaram melhor ajuste foram as lineares, passando ou não pela origem. Do ponto de vista prático, sugere-se optar pela equação linear simples envolvendo o produto (C\*L), considerando-se o coeficiente linear igual a zero. A estimativa da área foliar de *Crotalaria juncea* L. pode ser feita pela equação  $Sf = 0,7160 \times (C*L)$  com um coeficiente de determinação de 0,9712.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adubação verde. Análise de crescimento. *Crotalaria juncea* L. Índice de área foliar.

## INTRODUÇÃO

Monoculturas como a cana-de-açúcar podem causar conseqüências indesejáveis à agricultura, as quais estão relacionadas ao aumento da suscetibilidade a pragas e doenças, redução da biodiversidade e redução no uso eficiente de recursos naturais disponíveis, tais como água, luz e nutrientes (OLIVEIRA et al., 2007; GLIESSMAN, 2005). Entre as práticas utilizadas para a reforma de canaviais destaca-se a adubação verde com espécies tais como *Crotalaria juncea* L.. Essa espécie além de prover nitrogênio, resultante do processo de fixação biológica, para culturas de interesse econômico, reduz os riscos de erosão e diminui os prejuízos causados por nematóides e plantas daninhas (DINARDO-MIRANDA; GIL, 2005; ESPINDOLA et al., 2005). Oliveira et al. (1998) avaliaram espécies utilizadas como adubo verde e encontraram maior produção de biomassa seca com *Crotalaria juncea* L.. Caceres e Alcarde (1995) avaliando o potencial produtivo de sete leguminosas também, constataram que *Crotalaria juncea* L. foi a mais produtiva, alcançando 7,1 t de matéria seca na parte aérea (caule e folhas).

Assim, parâmetros relacionados ao crescimento da planta são muito importantes para o

manejo dessa espécie. Entre esses parâmetros, a área foliar é um dos mais importantes e um dos mais difíceis de ser mensurados (CARVALHO; CHRISTOFFOLETI, 2007). Conhecimentos sobre a área foliar de uma planta são necessários para estudos agrônômicos e fisiológicos envolvendo crescimento vegetal (BLANCO; FOLEGATTI, 2003), bem como na avaliação de várias práticas culturais, tais como densidade de plantio, adubação, irrigação, poda e aplicação de defensivos (FAVARIN et al., 2002).

Nesse sentido, a busca de métodos fáceis de serem executados, rápidos e não-destrutivos para a estimativa da área foliar com precisão torna-se importante para avaliar o crescimento das plantas nas condições de campo. Tais modelos de determinação de área foliar não destrutivos são obtidas por modelos de regressão, baseados em medidas lineares do limbo foliar, (CARDOZO et al., 2009). Este tipo de abordagem foi amplamente estudado em culturas tais como pepineiro (NIED et al., 2001), meloeiro (NASCIMENTO et al., 2002), feijão-vagem (QUEIROGA et al., 2003), berinjela (COSTA et al., 2007) e girassol (ROUPHAEL et al., 2007).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi determinar equações que permitam

estimar a área foliar dessa espécie, por meio de dimensões lineares das folhas de *Crotalaria juncea* L.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental localiza-se na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP campus de Jaboticabal, estado de São Paulo, com coordenadas geográficas de 21° 14' 05"S; 48° 17' 09" W ocorrendo a 615 metros de altitude. As normais climatológicas do município, com valores médios anuais do período de 1971 a 2000, são: 1424,6 mm de precipitação, 117,5 dias com chuva, 2585,8 h de insolação, 943,5 hPa de pressão atmosférica, 28,9 °C, 16,8 °C e 22,2 °C de temperaturas máxima, mínima e média do ar, respectivamente, e 70,8% de umidade relativa do ar (UNESP-DCE, 2011). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Roxo Eutroférico, segundo recomendação da EMBRAPA (1997).

O experimento foi desenvolvido em uma área de 2 ha, com preparo de solo convencional, com aração e gradagem, no início do mês de novembro de 2007. A semeadura de *Crotalaria juncea* L. foi realizada em 10 de dezembro de 2007 em espaçamento de 0,50 m entre linhas e 0,05 m entre plantas. A adubação de semeadura foi realizada com 60 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Não houve controle de plantas daninhas ou para qualquer tipo de praga ou doenças.

Foram coletadas folhas de *Crotalaria juncea* L. de plantas escolhidas aleatoriamente no campo com plantas homogêneas. Empregaram-se todas as folhas que se apresentavam íntegras, sem deformações oriundas de fatores nutricionais, pragas ou doenças. No total, foram selecionadas 200 folhas, as quais foram levadas no mesmo dia ao laboratório onde sua área real, comprimento e largura foram medidas utilizando-se o medidor "Area Meter" (Licor Inc., Lincon, Nebraska, US), modelo LICOR LI-3000. O comprimento foi definido como a distância entre o ponto de inserção do pecíolo no limbo foliar e a extremidade oposta da folha e a largura como a maior dimensão perpendicular ao eixo do comprimento.

A determinação da equação mais adequada para estimar a área foliar da espécie estudada foi realizada a partir de regressões envolvendo as dimensões foliares medidas em laboratório, sendo as mesmas: linear  $Y = a + bx$ ; linear pela origem  $Y = bx$ , geométrica  $Y = ax^b$  e exponencial  $Y = ab^x$ , sendo que o valor Y estima a área do limbo foliar

em função de X, cujos valores podem ser o comprimento (C), a largura (L) ou o produto (C\*L).

Todos os ajustes das equações foram feitos a partir de reta, assim sendo todas as equações utilizadas são lineares ou linearizáveis por transformação. Foram calculadas as somas de quadrados das diferenças (soma de quadrados do resíduo) entre os valores observados e os preditos pelos modelos, de forma a permitir comparações entre os mesmos. Os modelos envolvendo transformação (geométrica e exponencial) sofreram conversão à escala original para, então, obter-se as somas de quadrados do resíduo.

Os coeficientes de correlação foram obtidos com as variáveis X e Y no modelo linear e logaritmo de Y e X, nos modelos geométrico e exponencial. O número de graus de liberdade foi estimado pelo número de folhas analisadas menos o número de parâmetros estimados para cada modelo. Para se testar o acréscimo de soma de quadrados do resíduo do modelo passando pela origem em relação ao modelo com intercepto, utilizou-se o teste F condicional:  $F = (SQRes. (0,0) - SQRes. CL) / SQRes. CL/GL$ , com um e dois GL (graus de liberdade), onde GL é o número de folhas menos dois (NETER; WASSERMAN, 1974; MEAD; CURNOW, 1983), SQRes (0,0) é igual à Soma de Quadrados do Resíduo do modelo linear passando pela origem (modelo  $Y = bx$ ) e a SQRes (CL) corresponde à Soma de Quadrados do Resíduo do modelo linear com parâmetros a e b ( $Y = a + bx$ ). A equação que propiciou a melhor estimativa da área foliar de *Crotalaria juncea* L. foi aquela que apresentou menor soma de quadrados do resíduo na escala real (sem transformação) e o maior coeficiente de determinação estimado (Peressin et al., 1984). O modelo de melhor ajuste foi então testado e validado empregando-se a análise de regressão entre a área foliar estimada e a área foliar medida, em nova amostra de folhas, ou seja, com dados independentes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de comprimento (C) das folhas de *Crotalaria juncea* L. variaram de 4,3 a 12,6 cm, com valores médios de 9,1 cm; já a largura (L) das folhas variou de 0,7 a 2,8 cm, com valores médios de 1,8 cm. Os valores de área foliar real variaram de 2,3 a 23,1 cm<sup>2</sup>, com média de 12,3 cm<sup>2</sup> (Tabela 1). Observou-se também que 89% das folhas apresentam valores de área foliar que variam de 9 a 18 cm<sup>2</sup>.

**Tabela 1.** Valores máximos, mínimos e médios do comprimento ao longo da nervura central, largura e área foliar de 200 limbos foliares de *Crotalaria juncea* L.

Característica	Máximo	Mínimo	Média
Comprimento (cm)	12,6	4,3	9,07
Largura (cm)	2,8	0,7	1,84
Área (cm <sup>2</sup> )	23,06	2,32	12,27

Os resultados das análises de regressão realizados a partir dos valores de comprimento (C), largura (L), da área foliar real (Sf) e o produto do comprimento pela largura da folha (C\*L) de *Crotalaria juncea* L. são apresentados na Tabela 2. Todas as equações obtidas permitiram estimar satisfatoriamente sua área foliar, uma vez que, em todos os casos os coeficientes de determinação foram superiores a 0,87. Tais resultados indicam que pelo menos 87% das variações observadas nas áreas foliares de *Crotalaria juncea* L. foram explicadas pelas equações obtidas utilizando as dimensões foliares da espécie. O menor coeficiente de determinação foi obtido a partir de uma equação exponencial que considerou apenas a medida da largura, sendo seu valor igual a 0,8723. Pode-se

observar que todos os modelos que consideraram apenas a largura obtiveram valores de coeficiente de determinação menores do que aqueles que consideraram apenas o comprimento. Todavia, todos os modelos que consideraram apenas uma dimensão foliar (comprimento ou largura) obtiveram valores de coeficiente de determinação inferiores aos que consideraram o produto das dimensões (C\*L).

As regressões lineares simples entre a área foliar real e o produto do comprimento pela largura da folha obtiveram os maiores valores do coeficiente de determinação e os menores valores da soma de quadrados do resíduo, fato que indica serem estas as equações que permitem obter as melhores estimativas da área foliar de *Crotalaria juncea* L.

**Tabela 2.** Equações de regressão estimadas, coeficientes de determinação, graus de liberdade e somas de quadrados de desvios da regressão da área foliar em função das medidas lineares do limbo foliar de *Crotalaria juncea* L.

X	Tipo de equação	Coeficiente de determinação	GL	S. Q. Resíduo	
				(na escala original)	Equação estimada (.f)
C	Linear	0,8953	198	619,221	- 0,7669 + 0,2199C
L	Linear	0,8761	198	725,192	- 0,6225 + 0,1005L
CL	Linear	0,9712	198	177,219	0,2845 + 0,7010CL
CL (0,0)	Linear	0,9712	199	178,697	0,7160 x CL
C	Geométrica	0,923	198	633,606	0,2479 x C <sup>0,1757</sup>
L	Geométrica	0,8974	198	764,307	0,4407 x L <sup>0,1632</sup>
C	Exponencial	0,8974	198	730,063	0,1877 x 0,1222 <sup>C</sup>
L	Exponencial	0,8723	198	947,056	0,2195 x 0,2468 <sup>L</sup>

\* onde C e L correspondem a comprimento e largura respectivamente.

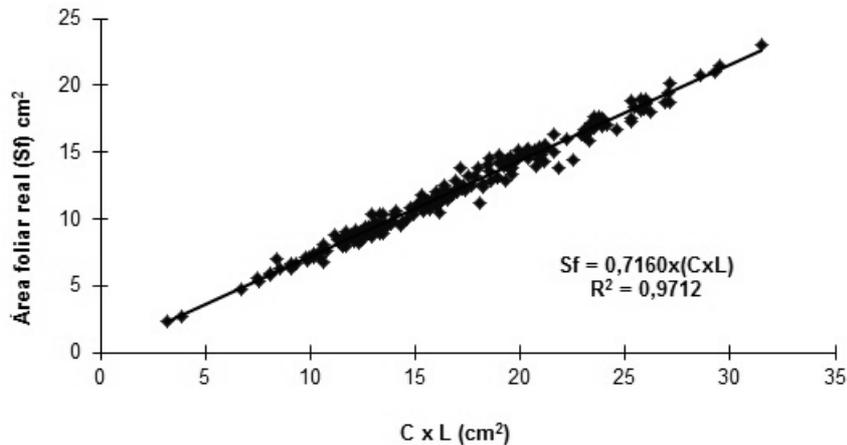
Resultados similares foram obtidos por Monteiro et al. (2005), os quais ao realizarem análises de regressão da área foliar de algodoeiro com o comprimento e a largura das folhas separadamente, encontraram menores graus de correlação do que aquela realizada com o produto das duas dimensões. Pires et al. (1999), Strik e Proctor (1985), testando diferentes métodos para calcular a área foliar do morangueiro por meio das dimensões das folhas, também encontraram melhores resultados ao utilizarem o produto do

comprimento e da largura do que essas variáveis separadamente.

Não houve diferenças significativas entre as equações que representam o produto entre o comprimento e a largura, passando ou não pela origem, fato que já era esperado pois a retirada de uma constante não afeta o comportamento dos dados (NETER; WASSERMAN, 1974). Essas equações apresentaram coeficiente de determinação de 0,9712, sugerindo assim, que 97,12% das variações totais observadas podem ser explicadas

pela regressão linear. Embora a soma dos quadrados dos resíduos seja um pouco maior na regressão linear passando pela origem, essa alteração é pouco expressiva. Assim, a equação linear simples com a reta passando pela origem é a mais recomendada, dada a facilidade de sua utilização e a possibilidade de estabelecimento de um fator único de correção

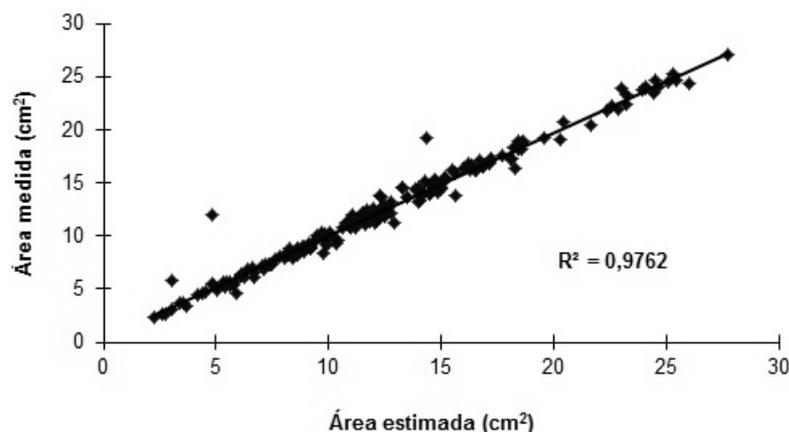
(no caso, o valor de 0,7160), fato ressaltado por BIANCO et al., (2007) e CARDOZO et al. (2009). Assim, a estimativa da área foliar de *Crotalaria juncea* L. pode ser obtida pela equação  $S_f = 0,7160 \times (C \times L)$ , ou seja, 71,60% do produto entre o comprimento e a largura máxima do limbo foliar (Figura 1).



**Figura 1.** Regressão linear simples entre a área foliar real e o produto do comprimento (C) pela largura (L) dos folíolos de *Crotalaria juncea* L.

A validação do modelo de melhor ajuste é apresentada na Figura 2. Houve manutenção dos erros ocorridos, os quais permaneceram inferiores a 3%. Os resultados demonstram a validade do modelo visto que outros autores, trabalhando com as mais diversas espécies de plantas (cultivadas ou daninhas), obtiveram erros que variam de 5 a 10% (CARDOZO et al., 2009; MONTEIRO et al., 2005,

CAMPOSTRINI; YAMANISHI, 2001; NASCIMENTO et al., 2002; BIANCO et al., 2003; QUEIROGA et al., 2003). Segundo Monteiro et al. (2005) resultados como esse comprovam a eficiência do modelo em estimar a área foliar de uma cultura e demonstram a relevância dessa metodologia empregada em sua determinação.



**Figura 2.** Regressão linear simples entre a área foliar real de *Crotalaria juncea* L. e a estimada pelo modelo proposto.

## CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que todas as equações obtidas podem ser

utilizadas para estimar a área foliar *Crotalaria juncea* L. com erros que variam de 3 a 13%.

O modelo linear passando pela origem,  $S_f = 0,7160 \times (C \times L)$  foi a que ofereceu menor erro nas estimativas, os quais foram inferiores a 3%.

**ABSTRACT:** Knowledge of the leaf area plant are needed for agronomic and physiological studies involving plant growth. The aim of this study was to obtain a mathematical model using linear measures of leaf dimensions, which will allow the estimation of leaf area of *Crotalaria juncea* L. Correlation studies were conducted involving real leaf area (Sf) and leaf length (C), maximum leaf width (L) and the product between C and L. All tested models (linear, exponential or geometric) provided good estimation of leaf area (above 87%). The better fit was attained using linear model, passing or not through the origin. From a practical viewpoint, it is suggested to use the linear model involving the C and L product, using a linear coefficient equal to zero. Estimation of leaf area of *Crotalaria juncea* L. can be obtained using the model  $Sf = 0.7160 \times (C \cdot L)$  with a determination coefficient of 0.9712.

**KEYWORDS:** Green manure. Growth analysis. *Crotalaria juncea* L. Leaf area index.

## REFERÊNCIAS

- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 04, p. 666-669, 2003.
- BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PITELLI, A. M. C. M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* L. usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 02, p. 257- 261, 2003.
- BIANCO, S.; BIANCO, M. S.; PAVANI, M. C. M. D.; Duarte, D. J. Estimativa da área foliar de *Ipomoea hederifolia* e *Ipomoea nil* Roth. Usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 02, p. 325-329, 2007.
- CACERES, N. T.; ALCARDE, J. C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). **STAB**, Piracicaba, v. 13, n. 05, p. 16-20, 1995.
- CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O.K. Estimation of papaya leaf area using the central vein length. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 01, p. 39-42, 2001.
- CARDOZO, N. P.; PARREIRA, M. C.; ALVES, P. L. C. A.; BIANCO, S. Área foliar de duas trepadeiras infestantes de cana-de-açúcar utilizando dimensões lineares de folhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 04, p. 683-687, 2009.
- CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Leaf area estimation of five *Amaranthus* species using leaf blade linear dimensions. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 02, p. 317-324, 2007.
- COSTA, M. L.; WEBLER, A. R.; CORADINI, C.; MALDANER, I. C.; GUSE, F. I.; RADONS, S. Z. Modelos de determinação não destrutiva da área foliar da berinjela cultivada em estufa plástica. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1 CD.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A. Efeito de rotação com *Crotalaria juncea* na produtividade de cana-de-açúcar tratada ou não com nematicidas no plantio. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 29, n. 01, p. 63-66, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997, 212 p.
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; Almeida, D. L.; Abboud, A. C. S. **Adubação verde com leguminosas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 49 p.
- FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 06, p. 769-773, 2002.

- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável**. 3 ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2005, 653 p.
- MEAD, R.; CURNOW, R. N. **Statistical methods in agriculture and experimental biology**. 2 ed. London: Chapman and Hall, 1983, 335 p.
- MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimativa da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 01, p. 15-24, 2005.
- NASCIMENTO, I. B.; FARIAS, C. H. A.; SILVA, M. C. C.; MEDEIROS, J. F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; NEGREIROS, M. Z. Estimativa da área foliar do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 04, p. 555-558, 2002.
- NETER, J.; WASSERMAN, W. **Applied models. Regressions, analysis of variance and experimental designs**. Illinois: Richard D. Irwin, 1974, 842 p.
- NIED, A. H.; DALMAGO, G. A.; HELDWEIN, A. B.; WILSMANN, S. Modelos para determinação não destrutiva da área das folhas do pepineiro cultivado em estufa plástica. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 7, n. 01, p. 15-26, 2001.
- OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D.; ALMEIDA, D. L.; SILVA, E. E.; URQUIAGA, S.; ESPINDOLA, J. A. A. The use of sunn hemp as green manure intercropped with taro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 04, p. 562-566, 2007.
- OLIVEIRA, M. W.; TAGIAFERRO, F. S.; CAMARGOS, S. L.; MÁXIMO, E. Acúmulo de matéria seca por adubos verdes semeados em diferentes épocas. In: Encontro Científico dos Pós-Graduandos do CENA/USP, 4., 1998, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba, CENA/USP, 1998, p. 59.
- PERESSIN, V. A.; PITELLI, R. A.; PERECIN, D. Métodos para estimativa da área foliar de plantas daninhas. 4. *Cassia tora* L. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 7, n. 02, p. 48-52, 1984.
- PIRES, R. C. M.; FOLEGATTI, M. V.; PASSOS, F. A. Estimativa da área foliar do morangueiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 02, p. 86-90, 1999.
- QUEIROGA, J. L.; ROMANO, E. D. U.; SOUZA, J. R. P.; MIGLIORANZA, E. Estimativa da área foliar do feijão vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 01, p. 64-68, 2003.
- ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; FANASCA, S.; KARA, M F. Leaf area estimation of sunflower leaves from simple linear measurements. **Photosynthetica**, Czech Republic, v. 45, n. 02, p. 306-308, 2007.
- STRIK, B. C.; PROCTOR, J. T. A. Estimating the area of trifoliolate and unequally imparipinnate leaves of strawberry. **HortScience**, Alexandria, v. 20, n. 06, p. 1072-1074, 1985.
- UNESP-DCE: Departamento de Ciências Exatas - FCAV: **Normais Climatológicas de Jaboticabal**. Disponível em: <www.exatas.fcav.unesp.br/estacao>. Acesso em: 10 jan. 2011.