

# ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DO CAFEIRO CONILON A PARTIR DO COMPRIMENTO DA FOLHA

Fábio Luiz Partelli<sup>1</sup>  
Henrique Duarte Vieira<sup>1</sup>  
Edenio Detmann<sup>2</sup>  
Eliemar Campostrini<sup>1</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estabelecer equações de regressão para se estimar a área foliar do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre), utilizando-se medidas lineares da folha. Foram utilizadas plantas propagadas vegetativamente, em diferentes estádios de desenvolvimento. Foram coletadas quatro folhas, de tamanhos diferentes por planta, totalizando 80 folhas por estádio. Para a avaliação de folhas desenvolvidas sob plena radiação e em ambiente sombreado, foram utilizadas 160 folhas. O comprimento da nervura central (CNC) mostrou-se adequado para estimar a área foliar (AF) da espécie em estudo. As equações matemáticas estimadas foram:  $\hat{AF} = 0,2027 \times \text{CNC}^{2,1336}$  para mudas e  $\hat{AF} = 0,3064 \times \text{Idade}^{-0,0556} \times \text{CNC}^{2,0133}$  para plantas de idades diferentes. Nas folhas desenvolvidas à sombra, a medida linear do CNC não se mostrou adequada para medição da área foliar, o que ocorreu com a utilização do retângulo circunscrito à folha.

Palavras chave: *Coffea canephora*, características morfológicas, comprimento de nervura central.

## ABSTRACT

### ESTIMATIVE OF LEAF FOLIAR AREA OF COFFEA CANEPHORA BASED ON LEAF LENGTH

The objective of this work was to establish regression equations which estimate the leaf area of *Coffea canephora* using linear dimensions of the leaves. Four leaves were collected from asexual propagated plants of different stages of growth of several sizes per plant, totalizing 80 leaves. In order to evaluate the leaves grown in sunny and on shady environment of the crown 160 leaves were used. The length central vein (LCV) showed to be adequate to estimate the leaf area (LA). The adjusted equations were  $LA = 0,2027 \times \text{LCV}^{2,1336}$ , and  $LA = 0,3064 \times \text{Age (months)}^{-0,0556} \times \text{LCV}^{2,0133}$  for juvenile and adult plants, respectively. For leaves developed in the shadow the linear measurement of LCV was not adequate for estimating the leaf area. However, equation based on the circumscribed rectangle were adequate.

Key words: *Coffea canephora*, morphological characteristics, central vein length

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Av.: Alberto Lamego, 2000 Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes-RJ, CEP 28013-602. e-mail: partelli@yahoo.com.br, henrique@uenf.br; campost@uenf.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa (UFV) Departamento de Zootecnia, Viçosa-MG, CEP 36571-000.

## INTRODUÇÃO

O processo fotossintético é um fenômeno de superfície. Em folhas consideradas de sol, sob quantidades adequadas de fluxo de fótons fotossintéticos, a assimilação do carbono está relacionada linearmente com a interceptação dos fótons nas regiões do azul e do vermelho (Lawlor, 1993). Maior área foliar implica maior superfície de interceptação de luz, o que poderá resultar em taxas fotossintéticas mais elevadas. Esse fato mostra que a mensuração da área foliar é importante e pode auxiliar a avaliação do estado fisiológico de uma planta.

Há várias metodologias para medição da área foliar (Kvet & Marsall, 1971). Essencialmente, três métodos são os mais utilizados: os planímetros automáticos (destrutivo), modelos matemáticos em que se utilizam o comprimento e a largura da folha (comprimento e largura) (método não-destrutivo) (Nobel *et al.*, 1993) e método fotogravimétrico (destrutivo) (Norman & Campbell, 1989). Em todos os métodos em que se necessita de destruir a amostra, a medição da área foliar deverá ser feita imediatamente após a coleta, para evitar o enrolamento e a retração da folha, o que pode causar erro nas leituras (Norman & Campbell, 1989).

A medição da área foliar (AF) com planímetros pode fornecer os valores de AF de forma rápida e precisa (Nobel *et al.*, 1993). Porém, para se efetuar a mensuração, a amostra é destruída e, são utilizados equipamentos sofisticados. Sendo assim, buscam-se métodos que se baseiam na estimativa da área foliar, por meio da utilização de sua largura e de seu comprimento, sem destruir a amostra, principalmente em estudos de campo.

Com base nas dimensões da folha de diversas espécies e sem destruir a amostra, vários trabalhos têm relatado o uso de modelos matemáticos para estimar a área foliar (Huerta, 1962; Barros *et al.*, 1973; Rao *et al.*, 1978; Pereira & Splittstoesser, 1986; Robbins & Pharr, 1987; Gamiely *et al.*, 1991; Nesmith, 1991; Campostrini & Yamanishi, 2001; Nascimento *et al.*, 2002; Queiroga *et al.*, 2003). Isso demonstra que esta técnica é uma importante ferramenta para a avaliação da área foliar de diversas espécies.

Com relação ao cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre), uma metodologia para a determinação de sua área foliar sem destruir a amostra é de grande importância, uma vez que não há na literatura equações

matemáticas que permitam esta medição na espécie.

Por essa razão maneira, este trabalho teve como objetivo estabelecer equações de regressão para se estimar a área foliar do cafeeiro conilon (*C. canephora* Pierre) a partir de medidas lineares de folhas de plantas cultivadas em diferentes ambientes e em distintos estádios de crescimento.

## MATERIAL E MÉTODOS

As coletas de folhas foram efetuadas no início de 2004, em cafeeiro conilon (*C. canephora* Pierre) propagado por estacas, no Município de Vila Valério, no Espírito Santo, onde a temperatura média anual é de 23°C e o solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com altitude entre 50 e 200 metros (Espírito Santo, 1994).

As mudas do cafeeiro foram propagadas por estacas, irrigadas por microaspersão automática e cultivadas sob telado com 50% de interceptação do fluxo de fótons fotossintéticos. Foram coletadas quatro folhas por muda, de tamanhos diferentes, totalizando 80 folhas. Em seguida, efetuou-se a coleta das folhas de plantas de diferentes idades, cultivadas em campo. Nessa etapa, o procedimento foi semelhante ao adotado para mudas, sendo coletadas quatro folhas por planta, todas localizadas na parte do dossel que recebia radiação solar direta (20 plantas com seis meses, 20 plantas com 18 meses, 20 plantas com 33 meses e 20 plantas com 98 meses de idade).

Em etapa posterior, foram amostradas folhas de 20 plantas cultivadas em campo, com 98 meses de idade, totalizando 160 folhas (8 folhas/planta). A metade (80 folhas) foi constituída de folhas crescidas no interior do dossel da planta (barra e/ou brotos internos do cafeeiro, em plantas com espaçamento inferior a 3m<sup>2</sup> por planta). Na mesma ocasião, foi realizada a coleta de folhas crescidas a pleno sol.

As folhas foram umedecidas e acondicionadas em caixa de isopor, sendo posteriormente conduzidas ao Laboratório da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, onde procederam-se às medições do comprimento da nervura central e da maior largura do limbo foliar. Posteriormente, foi determinada a área de cada folha, por meio do medidor de área foliar Modelo LI-3100, Li-cor, Lincoln, NE, USA.

A partir das áreas foliares verdadeiras e de suas dimensões lineares, foram estimados os coeficientes de correlação linear de Pearson, ajustados por meio de análise de variância multivariada (Johnson & Wichern, 1998). Esses coeficientes de correlação foram obtidos de forma diferenciada em cada coleta, sendo ajustados com relação aos efeitos de idade e sombreamento, considerando as seguintes variáveis: comprimento da nervura central (CNC), máxima largura do limbo foliar (MLLF), produto CNC x MLLF e área foliar (AF). Tais estimativas foram tomadas como base na seleção das variáveis independentes a serem utilizadas para a construção das equações.

Com base nas relações entre as variáveis comprimento de folha e área foliar (Pereira & Splittstoesser, 1986; Campostrini & Yamanishi, 2001; Ruivo *et al.*, 2003), adotou-se o modelo potencial descrito como

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 \times CNC^{\hat{\beta}_1}$$

em que  $\hat{Y}$  = valor estimado para área foliar (cm<sup>2</sup>); CNC = comprimento da nervura central (cm); e  $\hat{\beta}_0$  e  $\hat{\beta}_1$  = coeficientes de regressão ajustados. A inclusão de variáveis categóricas foi realizada por meio de variáveis “Dummy” (Draper & Smith, 1966; Souza, 1998).

Para a validação das equações ajustadas, foram feitas coletas de 20 folhas de mudas crescidas em dois viveiros (10 folhas/viveiro), de 10 folhas por lavoura com idades de oito, 26, 30, 38, 45, 59, 76, 98, 100 e 112 meses (duas folhas por planta), e de 20 folhas de duas regiões do dossel das plantas (10 folhas crescidas no interior do dossel e 10 folhas crescidas a pleno sol). As áreas foliares foram devidamente quantificadas em laboratório, conforme os procedimentos descritos anteriormente, e também estimadas por meio das equações ajustadas.

A comparação entre valores observados e preditos, por meio das equações, foi conduzida a partir do ajustamento de modelo de regressão linear simples de valores preditos (variável dependente) ao de valores observados (variável independente).

Em todos os testes de hipóteses efetuados, foi estabelecido o valor de 0,05 como o nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

Como a equação para a mensuração das folhas desenvolvidas no interior do dossel e em plena radiação solar não foi validada apenas com o uso do CNC, utilizou-se também a MLLF para estimar uma equação

funcional, para a qual foram utilizadas 80 folhas (40 folhas crescidas em ambientes sombreados e 40 folhas em plena radiação solar). No processo de validação tomou-se a mesma quantidade de folhas citada, coletadas em 20 plantas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela mostra o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), que representa a intensidade da covariabilidade entre as variáveis (Steell *et al.*, 1997).

Todos os coeficientes de correlação indicaram associações positivas e elevadas. Entretanto, para a construção das equações de regressão, optou-se pela utilização apenas da variável independente comprimento da nervura central (CNC), que apresentou maior coeficiente de correlação de Pearson do que a maior largura do limbo foliar (MLLF) e menor dificuldade de mensuração, além de menor subjetividade do que a

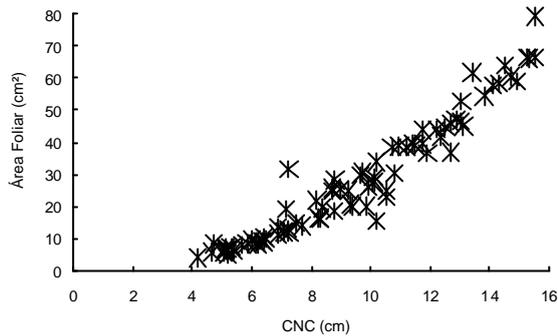
**Tabela 1** . Coeficientes de correlação linear de Pearson entre área foliar (AF) e as variáveis comprimento da nervura central (CNC), máxima largura do limbo foliar (MLLF) e produto do CNC e MLLF de folhas de plantas em diferentes estádios de desenvolvimento

Variável	Muda	Idade	Sol/Sombra
CNC	0,9038	0,9644	0,9701
MLLF	0,8093	0,9321	0,8640
CNCx MLLF	0,9461	0,9907	0,9969

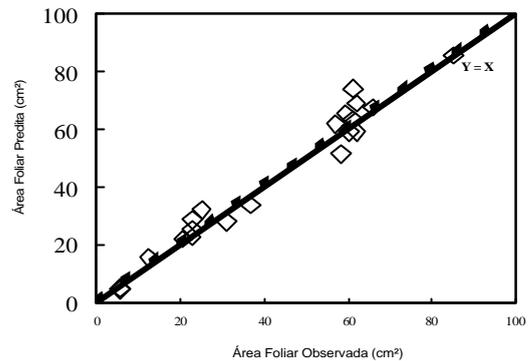
MLLF. Para a determinação do produto das duas variáveis (CNC x MLLF), apesar do aumento dos coeficientes de correlação de Pearson, optou-se pelo uso do CNC, que possibilitou a determinação de equações funcionais, sem a mensuração de outra variável (MLLF).

Nas diferentes situações estudadas, o diagrama de dispersão entre as variáveis área foliar (AF) e CNC (Figuras 1, 2 e 3) mostra, de forma direta, que se pode utilizar um modelo matemático básico de estrutura potencial, o que corrobora os argumentos apresentados para outras espécies vegetais, por Pereira & Splittstoesser (1986), Campostrini & Yamanishi (2001) e Ruivo *et al.* (2003).

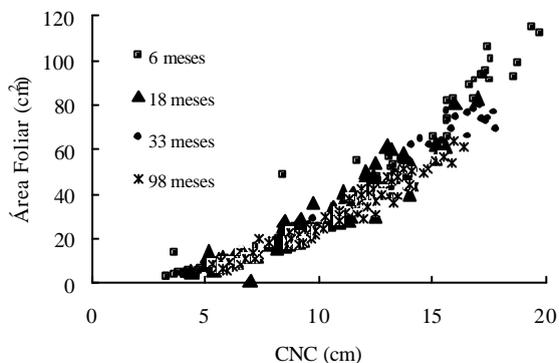
A equação que melhor se ajustou para estimar a área foliar (AF) de mudas, com base nos valores do CNC, foi  $\hat{AF} = 0,2027 \times CNC^{2,1336}$  ( $R^2 = 0,9493$ ). Na avaliação da



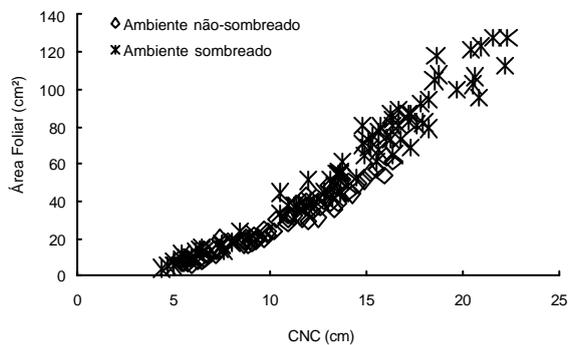
**Figura 1.** Comportamento descritivo das relações entre área foliar e comprimento da nervura central de folhas de mudas do cafeeiro conilon.



**Figura 4.** Relação entre valores preditos e observados para a área foliar em mudas do cafeeiro conilon (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).



**Figura 2.** Comportamento descritivo das relações entre área foliar e comprimento da nervura central de folhas do cafeeiro conilon de diferentes idades (6, 18, 33 e 98 meses).



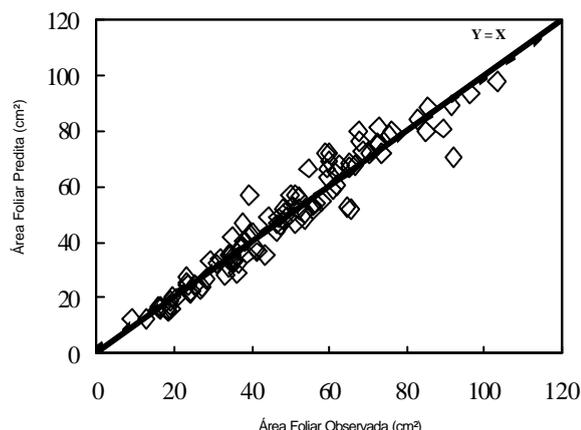
**Figura 3.** Comportamento descritivo das relações entre área foliar e comprimento da nervura central de folhas do cafeeiro conilon desenvolvidas à sombra e à plena radiação solar.

relação entre valores preditos e observados no processo de validação (Figura 4), verificou-se a não-rejeição de ambas as hipóteses de nulidade inicialmente propostas ( $P > 0,05$ ), indicando coerência no processo de estimação de AF a partir da equação descrita.

Empregou-se mais uma variável independente (idade da planta em meses) para mensuração de AF de plantas de idades diferentes, amostradas no verão, por exigência do teste estatístico pois a morfologia das folhas era diferente de acordo com a idade e também com a variação estacional. Assim,  $\hat{AF} = 0,3064 \times \text{Idade}^{-0,0556} \times \text{CNC}^{2,0133}$  ( $R^2 = 0,9803$ ) foi a equação que melhor se ajustou para estimar a área foliar. A partir dessa regressão, verifica-se que, ao compararem-se folhas de mesma área foliar de plantas com diferentes idades, é possível deduzir que as folhas de plantas mais velhas tendem a apresentar maior CNC e, conseqüentemente, menor largura do limbo foliar.

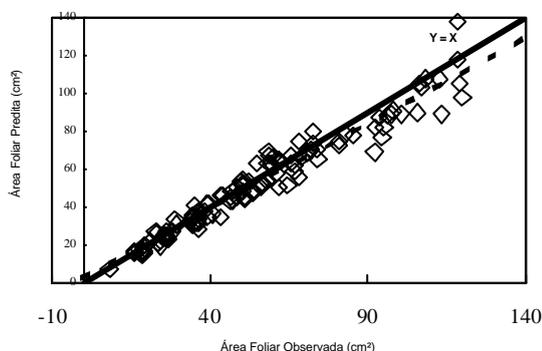
No processo de validação da equação para estimar AF de folhas com diferentes idades (Figura 5), observa-se que houve relação entre valores preditos e observados e não-rejeição de ambas as hipóteses de nulidade ( $P > 0,05$ ), indicando coerência no processo, apesar de a equação baseada no retângulo circunscrito apresentar maior correlação linear de Pearson.

Em folhas desenvolvidas em diferentes locais do dossel, apresentando diferentes quantidades de fluxo de fótons fotossintéticos, ou seja, locais dentro do dossel (considerados sombreados) e locais com folhas crescidas em pleno sol, para estimar a equação de regressão, introduziu-se a variável “dummy” (D), para a



**Figura 5.** Relação entre valores preditos pela equação e observados para a área foliar de plantas do cafeeiro conilon com idades diferentes (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).

consideração dos diferentes ambientes de crescimento. Nesse contexto, D será igual a zero para as folhas crescidas em pleno sol e igual a 1 para folhas crescidas dentro do dossel (ambiente sombreado). A primeira equação estimada foi  $AF = e^{(-1,4046 + 0,1645 \times D)} \times CNC^{1,9931}$  ( $R^2 = 0,9812$ ). Entretanto, quando foi feita a validação (Figura 6), utilizando-se de 120 folhas de seis lavouras, verificou-se a rejeição da hipótese de nulidade associada ao coeficiente de regressão ( $P < 0,05$ ), indicando incoerência no processo. Possivelmente, a não adequação do modelo (Figura 6), bem como a diferença nos pontos observados na Figura 3, é devida à grande variação das formas das folhas que cresceram no interior do dossel (considerado como sombreado). De fato, nesses locais, semelhante ao que acontece em sub-bosque de florestas, a réstia entre a folhagem sofre

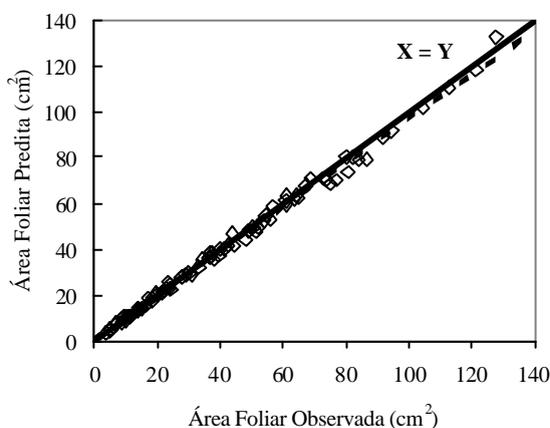


**Figura 6.** Relação entre valores preditos e observados (primeira validação) para a área de folhas do cafeeiro conilon desenvolvidas em ambiente sombreado e a plena radiação solar (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).

variações muito bruscas de intensidade nos locais sombreados (Pearcy *et al.*, 1977), o que pode acarretar modificações nos padrões de crescimento.

Dessa forma, para se obter uma equação para mensurar folhas crescidas em ambiente sombreado e em pleno sol, foi utilizado o retângulo circunscrito, chegando-se à seguinte equação de regressão  $AF = 0,6123 \times (CNC \times MLLF)^{1,0057}$  ( $R^2 = 0,9906$ ). Não houve necessidade da variável “dummy”, pois esta não se apresentou significativa quando se utilizou o produto do CNC x MLLF como variável independente. Na avaliação da relação entre os valores preditos e observados no processo de validação (Figura 7), houve a não-rejeição das hipóteses de nulidade ( $P > 0,05$ ), indicando coerência no processo de estimação de AF com a utilização da equação descrita, sendo o retângulo circunscrito a melhor maneira de descrever este fenômeno.

Ao se observarem as equações de regressão ajustadas para as folhas desenvolvidas em ambientes sob diferentes intensidades de fluxo de fótons fotossintético (Figura 3), verifica-se que, a partir do coeficiente de regressão associado à variável independente “posição das folhas no dossel” (ambiente sombreado e em pleno sol), ao se compararem folhas com mesmo valor de CNC,



**Figura 7.** Relação entre valores preditos e observados (validação utilizando o retângulo circunscrito) da área foliar de folhas do cafeeiro conilon desenvolvidas em ambiente sombreado e em plena radiação solar (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).

observa-se que aquelas que cresceram no interior do dossel apresentaram maiores áreas foliares. Essas alterações que se observam na morfologia da folha, segundo Romberg *et al.* (1993), ocorrem em folhas de plantas dicotiledôneas, como o cafeeiro.

## CONCLUSÕES

O comprimento da nervura central constitui um parâmetro linear adequado para estimar-se a área de folhas de mudas propagadas vegetativamente e de folhas de plantas de *Coffea canephora* Pierre desenvolvidas em pleno, sol de diferentes idades. Para estimar a área foliar de folhas do cafeeiro conilon desenvolvidas em ambientes sombreados deve-se utilizar a equação relacionada ao retângulo circunscrito.

## AGRADECIMENTOS

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF

## REFERÊNCIAS

- Barros RS, Maestri M, Vieira M & Braga Filho LJ (1973) Determinação de área foliar do café (*Coffea arabica* L. vc. 'Bourbon Amarelo'). Revista Ceres 20: 44-52.
- Campostrini E & Yamanishi OK (2001) Estimation of papaya leaf area using the central vein length. Scientia Agricola 58: 39-42.
- Draper NR & Smith H (1966) Applied regression analysis. N. York, John Wiley & Sons. 407 p.
- Espírito Santo (Estado) (1994) Secretaria de Estado de Ações Estratégicas e Planejamento. Informações municipais do Estado do Espírito Santo 1994. Vitória: Departamento Estadual de Estatística, 803 p.
- Gamiely S, Randle WM, Mills H A & Smittle DA (1991) A rapid and nondestructive method for estimating leaf area of onions. HortScience 26: 206.
- Huerta AS (1962) Comparacion de metodos de laboratorio y de campo para medir el area foliar del cafe. Cenicafé 13: 33-42.
- Johnson RA & Wichern DW (1998) Applied multivariate statistical analysis. 4<sup>th</sup> ed. N. Jersey, Prentice Hall, 816 p.
- Kvet J & Marshall JK (1971) Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. In: Sestak Z, Catsky J & Jarvis PG (Eds.) Plant photosynthetic production: Manual of methods. Junk, The Hague, p. 517-555.
- Lawlor D (1993) Photosynthesis: Molecular, physiological and environmental process, Essex, England: Longman Scientific & Technical, 318 p.
- Nascimento B, Farias CHA, Silva MCC, Medeiros JF, Sobrinho JE & Negreiros MZ (2002) Estimativa de área foliar do meloeiro. Horticultura Brasileira 20: 555-58.
- Nesmith DS (1991) Nondestructive leaf area estimation of rabbiteye blueberries. HortScience 26: 1332.
- Norman JM & Campbell GS (1989) Canopy structure. In: Percy RW, Ehleringer JR, Mooney HA & Rundel PW (Eds.) Plant physiological ecology. London, Chapman and Hall, p. 301-325.
- Nobel PS, Forseth IN & Long SP (1993) Canopy structure and light interception. In: Hall DO, Scurlock JMO, Bolhar-Nordenkampf HR, Leegood RC & Long SP (Eds.) Photosynthesis and production in a changing environment. London, Chapman and Hall, p. 79-90.
- Percy RW, Gross LJ & He D (1977) An improved dynamic model of photosynthesis for estimation of carbon gain in sunfleck light regimes. Plant Cell and Environment 20: 411-24.
- Pereira JF & Splittstoesser WE (1956) A rapid method to estimate leaf of cassava plants. HortScience 21: 1218-19.
- Queiroga JL, Romano EDU, Souza JRP & Miglioranza E (2003) Estimativa de área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. Horticultura Brasileira 21: 64-68.
- Rao GS, Khan BH & Chadha KL (1978) Comparison of methods of estimating leaf-surface area through leaf characteristics in some cultivars of *Mangifera indica*. Scientia Horticulturae 8: 341-348.

- Robbins NS & Pharr MD (1987) Leaf area prediction models for cucumber from linear measurements. HortScience 22: 1264-66.
- Romberg JA, Hejnowicz Z & Hill JF (1993) Plant structure: Function and development. Berlin, Springer – Verlag, 524 p.
- Ruivo SC, Sousa EF de, Araújo MC, Silva MG, Paes HM, Bernado S & Detmann E (2003) Desenvolvimento de modelo prático de estimação da área folha do coqueiro Anão Verde na região Norte Fluminense. In: 8º Encontro de Iniciação Científica, 3ª Mostra de Pós-Graduação e 1ª Mostra de Extensão., Campos dos Goytacazes. Livro de Resumos. Campos dos Goytacazes, UENF, p. 113.
- Souza G S (1998) Introdução aos métodos de regressão linear e não-linear. Brasília, EMBRAPA - SPI. 50 p.
- Steell RGD, Torrie JH & Dickey DA (1997) Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 3ª ed. New York, McGraw-Hill. 666 p.

*Aceito para publicação em 08/06/2006*