

PREDIÇÃO DA ÁREA FOLIAR EM ABOBRINHA-ITALIANA: UM MÉTODO NÃO DESTRUTIVO, EXATO, SIMPLES, RÁPIDO E PRÁTICO

Gustavo Sessa Fialho¹, Leandro Pin Dalvi², Nathale Bicalho Corrêa Dalvi², Karin Tesch Kuhlcamp², Emanuel Maretto Effgen²

RESUMO – Métodos não destrutivos destinados à estimação da área foliar, rápidos, de fácil execução e que apresentem graus aceitáveis de precisão são úteis para o estudo do crescimento das plantas em condições de campo. Desta forma, estimou-se a área foliar de plantas de abobrinha-italiana através de modelos de regressão. As áreas foliares, mensuradas por meio de um integrador foliar, foram postas em função das dimensões foliares (comprimento-C, Largura-L e do produto-CL) das folhas que lhes deram origem. Diversos estimadores foram gerados, todavia, apenas os três mais relevantes foram estudados, dentre os quais, o melhor estatisticamente foi eleito para análise de validação. Concluiu-se que a área foliar de abobrinha-italiana, cultivada a campo, pode ser predita com base na largura da folha (L) através do seguinte estimador: $(\hat{A}_L) = 47.3647 + 0.6211L^2$, que por sua vez, mostrou-se preciso, exato, simples, rápido e prático; sendo confiável em prever esta importante variável agrônômica.

Palavras-chave: Análise de crescimento, *Cucurbita pepo*, fisiologia vegetal, modelos de regressão

PREDICTION OF THE LEAF AREA IN ZUCCHINI FRUIT: A NON DESTRUCTIVE, EXACT, SIMPLE, FAST AND PRACTICAL METHOD

ABSTRACT – Non destructive methods aiming the estimation of the leaf area, fast, easily executed, with acceptable levels of accuracy are useful to the study of plants growing under field conditions. This way, the leaf area of zucchini fruit plants was estimated, through regression models. The leaf areas, measured by a leaf integrator were distributed according to the leaf dimension (length-C, wideness-L and of the product-CL) of the original leaves. Several estimators were generated, however, only the three most relevant were studied, among which, the best, statistically, was elected for validation analysis. We concluded that the leaf area of the zucchini fruit, grown in field, can be predicted, based on the leaf wideness (L), by the following estimator: $(\hat{A}_L) = 47.3647 + 0.6211L^2$, that, by its turn, was shown accurate, exact, simple, fast and practical, being reliable to preici us important agronomic variable.

Key Words: *Cucurbita pepo*, growth analysis, physiology, regression models

1. INTRODUÇÃO

A abobrinha-italiana (*Cucurbita pepo*) é uma hortaliça de grande valor econômico principalmente na região sudeste. A cultura apresenta ciclo curto, sendo a colheita realizada entre 45 a 60 dias após o plantio (Filgueira, 2003). As plantas apresentam folhas mosqueadas e sistema de crescimento vegetativo em forma de moita, distinguindo-se das demais abóboras também por possuírem hastes curtas e relativamente grossas (Souza et al., 2002).

No contexto da produção vegetal, a análise quantitativa do crescimento, que envolve o acúmulo de massa seca na planta

como um todo, mantém correlação direta com sua área foliar fotossinteticamente ativa. Deste modo, Lima et al. (2008) afirmam que o conhecimento da área foliar é importante para o entendimento da fotossíntese, interceptação luminosa, uso da água e nutrientes e consequentemente do potencial produtivo, podendo ainda auxiliar na compreensão do processo de partição de assimilados.

Monteiro et al. (2005) relatam que a avaliação da área foliar deve ser usada na investigação da adaptação ecológica dos vegetais a novos ambientes, no entendimento da competição entre diferentes espécies, efeitos de manejo, tratos culturais e ataques

¹ Universidade Federal de Viçosa/UFV – Dept°. Fitotecnia – 36571-000 – Viçosa, MG – gsfialho@hotmail.com

² Universidade Federal do Espírito Santo – CCA – Dept°. Produção Vegetal – 29500-000 – Alegre, ES

de pragas e doenças; fatores determinantes da produtividade e sustentabilidade da atividade agrícola.

Existem diversos métodos para a determinação da área foliar, porém os mais comuns além de caros baseiam-se em técnicas destrutivas restringindo-se aos laboratórios. Ainda segundo Lima et al. (2008), para a quantificação da área foliar via métodos destrutivos faz-se necessário um grande número de plantas nas parcelas experimentais, o que torna os ensaios demasiadamente grandes e muitas vezes impraticáveis.

Como alternativa aos métodos destrutivos, tem-se a estimativa indireta da área foliar, que pode ser acessada através de variáveis da folha que apresentem dependência linear com a superfície da mesma, servindo-se para tal das técnicas de interação numérica (equações de regressão). Neste sentido, a área foliar real é posta em função de uma ou mais variáveis dimensionais da folha objetivando-se encontrar uma equação preditora que seja simples, precisa, exata e rápida.

Os modelos mais comuns têm utilizado como variáveis independentes o comprimento da nervura principal, a largura máxima da folha e possíveis relações matemáticas existentes entre estas dimensões (Oga & Fonseca, 1994; Lima et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi obter uma equação de regressão confiável (estimador), para prever a área foliar de plantas de abobrinha-italiana, cultivadas a campo, através de variáveis biométricas tomadas de seus limbos comprimento (C), largura (L) e seu respectivo produto (CL), uma vez que, trabalhos envolvendo esta espécie e o tema proposto são raros na literatura específica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material biológico e construção dos modelos de regressão

O estudo foi conduzido utilizando-se de plantas provenientes de um cultivo convencional, a campo, localizado na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) município de Alegre-ES (Latitude Sul 20° 45'48"; Longitude Oeste 41° 31'57"; Altitude 250 m).

Coletou-se aleatoriamente 10 plantas em fase de frutificação, aproximadamente aos 35 dias após o plantio, das quais se extraíram todos os limbos foliares isentos de deformidades, totalizando 100 limbos. Em laboratório, determinaram-se: 1) a área foliar de cada limbo (Af em cm^2) através de um integrador foliar (modelo LI 3100 LICOR); 2) o comprimento ao longo da nervura principal de cada limbo (C em cm) e; 3) a largura máxima perpendicular a nervura principal da folha (L em cm).

Os modelos de regressão foram gerados a partir de 60 observações independentes dos referidos limbos (Af como função linear de C , L e CL), sendo as outras 40 observações reservadas para o estudo de validação do modelo escolhido.

Os critérios estatísticos para a escolha do melhor modelo de regressão basearam-se: a) na análise de variância da regressão: teste- F significativo para a regressão ($\alpha=0,01$); b) teste- t de Student significativo para os parâmetros do modelo sob a hipótese: $H_0 : \beta_i = 0$ vs. $H_0 : \beta_i \neq 0$ ($\alpha=0,01$); c) coeficiente de determinação ajustado para os graus de liberdade

(R_a^2); d) erro padrão das estimativas (EPE) e; e) padrão de dispersão dos resíduos (Antunes et al., 2008).

Validação do modelo

Netas fase lançaram-se mão das 40 observações independentes dos limbos foliares anteriormente reservadas; $n=40$.

Para verificar a exatidão do modelo escolhido na etapa anterior, inicialmente, ajustou-se um novo modelo de regressão linear simples sem interceptação ($MRLSSI$), relacionando-se os valores de área foliar mensurados pelo integrador de área foliar nas 40 observações (Af_{obs}) com os preditos pelo modelo de regressão adotado (Af_{est}). Desta maneira:

$$Y_i = \beta X_i + \varepsilon_i$$

em que: Y_i representa a área da i -ésima folha obtida pelo modelo de regressão escolhido - Af_{est} ; β , o coeficiente angular ou regressor; X_i corresponde à área da i -ésima folha observada - Af_{obs} ; e ε_i , ao erro aleatório associado a cada observação. O parâmetro β foi estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Para o $MRLSSI$, testou-se a hipótese: $H_0 : \beta_i = 1$ vs. $H_0 : \beta_i \neq 1$ ($\alpha=0,01$), que corresponde à equivalência entre as medidas de área foliar, preditas pela equação adotada e as observadas, mensuradas em laboratório.

A existência de dependência linear entre valores observados e estimados no que tange sua magnitude e sentido foi investigada através da correlação de Pearson (ρ).

O erro inerente ao modelo escolhido foi avaliado como “erro relativo médio” (ERM%), média do valor das diferenças (em módulo) entre os valores de área foliar estimados e observados, expresso como porcentagem dos valores observados.

A verificação da concordância entre as estimativas do modelo escolhido e os valores de área foliar observados foi realizada executando-se a estatística (d) de Willmott, na qual os valores encontrados variam de “zero” (sem concordância) a “um” (concordância perfeita). O valor de (d) é calculado por meio da seguinte equação:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=0}^n (Af_{est} - \overline{Af_{obs}})^2}{\sum_{i=1}^n (|Af_{est} - \overline{Af_{obs}}| + |Af_{obs} - \overline{Af_{obs}}|)^2} \right]$$

onde,

d = índice de concordância de Willmott; Af_{est} = área foliar estimada pelo modelo de regressão escolhido; Af_{obs} = área foliar observada e; $\overline{Af_{obs}}$ = média geral das áreas foliares observadas (Tavares-Júnior et al., 2002; Reis et al., 2007; Melo, 2009).

As análises estatísticas foram realizadas nos programas “SigmaPlot” (Jandel Scientific, 1986), “Table Curve 2D v5.0 trial” (Jandel Scientific, 1991) e “Genes” - aplicativo computacional em genética e estatística v. 1.0.0 (Cruz, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área foliar (Af) é variável chave para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos que envolvem o crescimento de

plantas, interceptação luminosa, eficiência fotossintética, evapotranspiração e respostas a fertilizantes e irrigação (Blanco & Folegatti, 2005). Este fato é relevante, visto que diferenças nas taxas fotossintéticas e transpiração podem afetar a qualidade e o rendimento de frutos de abobrinha-italiana como o observado por Carpes (2006), interferindo desta forma, na sustentabilidade do sistema produtivo.

Assim, diversos modelos lineares e não lineares foram ajustados entre as dimensões comprimento (C), largura (L) e a área foliar observada (Af_{obs}) para a determinação não destrutiva da área foliar de abobrinha-italiana (dados não exibidos). Todavia, apresentam-se aqui três modelos lineares polinomiais, visto que no geral, melhor satisfizeram as estatísticas pré-estabelecidas. Desta maneira, optou-se por compará-los, elegendo dentre os tais o melhor estatisticamente para o fim a que se destina. Dois deles envolvendo separadamente (C e L) e o outro, o produto (CL) (Figura 1 – A, B e C).

Diversos estudos envolvendo outras espécies vegetais concordam com a idéia desenvolvida neste trabalho, estabelecendo relações reais entre a área foliar e as dimensões da folha, dentre elas, destacamos: abóbora (Silva et al., 1998); meloeiro (Nascimento et al., 2002); taboa (Bianco et al., 2003); erva-de-touro (Bianco et al., 2004); algodoeiro (Monteiro et al., 2005); caruru (Carvalho & Christoffoleti, 2007); antúrio (Modenese-gorla da Silva et al., 2008) e café (Antunes et al., 2008).

O coeficiente de determinação ajustado para os graus de liberdade dos modelos testados foram: 98,14%, 93,92% e 77,64%; para os modelos, Af_L , Af_{CL} e Af_C , respectivamente

(Figura 1; Tabela 1). Logo, os modelos que usam L e CL para predizerem a área foliar em abobrinha-italiana são mais precisos (maiores R_a^2 e menores EPE).

Salienta-se ainda que, em Af_L a redução dos erros das estimativas (menor EPE) foi manifestada através de um incremento no F_{calc} e decréscimo na soma de quadrado residual (SQR) comparando-se com os demais modelos (Tabela 1).

Em abobrinha-italiana as análises de regressão mostraram que a maior parte da variação nos valores de área foliar foi explicada através das variáveis comprimento (C) e largura (L). Valores do erro padrão das estimativas (EPE) semelhantes aos encontrados neste estudo foram obtidos por Serdar & Demirsoy (2006), ao usarem modelos preditores de área foliar em castanheira em função de suas dimensões foliares. Para os referidos autores o menor EPE esteve relacionado ao modelo polinomial de ordem 2, estas informações corroboram com o observado neste trabalho.

O padrão de distribuição dos resíduos ao longo das variáveis independentes dos modelos contrastados encontra-se na Figura 2 – A, B e C. Destaca-se que o melhor padrão foi obtido também para o modelo Af_L (Figura 2-B), onde um comportamento de distribuição residual normal (erros homocedásticos) foi observado. Para os demais modelos além de clara heterocedasticidade residual, houve a presença de observações aberrantes, condenando a estimação dos parâmetros desses modelos via método dos mínimos quadrados ordinários, a menos que os dados passem por um correto tratamento prévio (ex. transformação de dados) (Figura 2 – A, C).

Figura 1 - Relação entre a área foliar estimada e as dimensões foliares: A - comprimento (C); B - largura (L) e; C - produto (CL) para abobrinha-italiana usando modelos polinomiais de regressão.

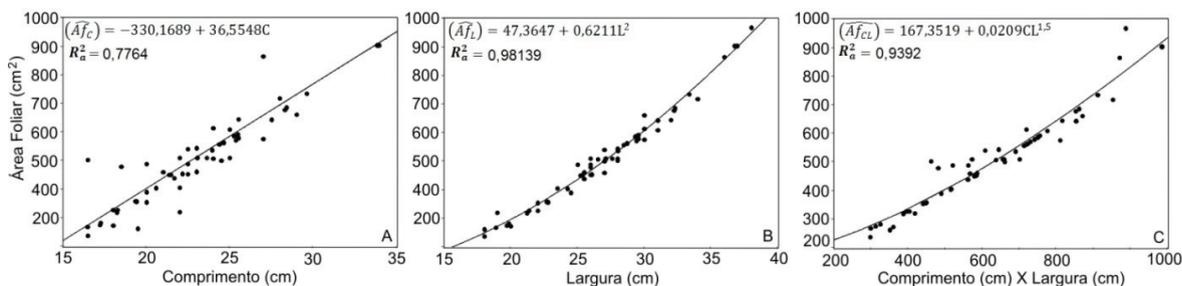
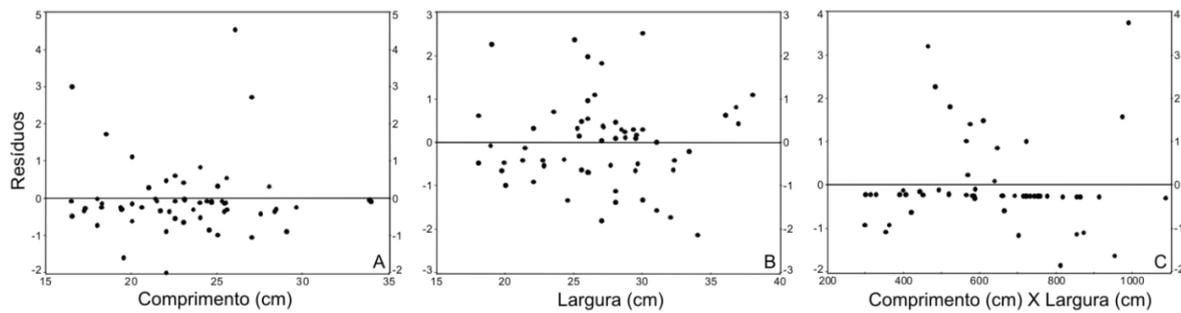


Tabela 1 - Modelos estatísticos, parâmetros da regressão, erro padrão das estimativas (EPE), coeficientes de determinação ajustados para os graus de liberdade (R_a^2), graus de liberdade do resíduo (g.l-R), soma de quadrados do resíduo (SQR), F-Calculado (F_{calc}) e estimadores da área foliar (Af) como funções das dimensões lineares das folhas de abobrinha-italiana (comprimento, C; largura, L)

Modelo	Parâmetros	EPE	R_a^2	g.l-R	SQR	F_{calc}	Estimador da \widehat{Af}
$Af_C = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon_i$	$\hat{\beta}_0 = -330,1689^{**}$ $\hat{\beta}_1 = 36,5548^{**}$	76,6076	0,7764	58	340386,900	210,58^{**}	$(\widehat{Af}_C) = -330,1689 + 36,5548C$
$Af_L = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \varepsilon_i$	$\hat{\beta}_0 = 47,3647^{**}$ $\hat{\beta}_1 = 0,6211^{**}$	22,1039	0,98139	58	28337,829	3168,11^{**}	$(\widehat{Af}_L) = 47,3647 + 0,6211L^2$
$Af_{CL} = \beta_0 + \beta_1 X^{1.5} + \varepsilon_i$	$\hat{\beta}_0 = 167,3519^{**}$ $\hat{\beta}_1 = 0,0209^{**}$	39,9287	0,9392	58	92469,644	930,66^{**}	$(\widehat{Af}_{CL}) = 167,3519 + 0,0209CL^{1.5}$

**Parâmetros – significativo pelo teste-t ($\alpha = 0,01$); ** F_{calc} – significativo pelo teste F ($\alpha = 0,01$)

Figura 2 - Análise de dispersão padrão dos resíduos para os respectivos modelos A - Af_C , B - Af_L e C - Af_{CL} .



Deste modo, guardando maior simplicidade em conter apenas uma variável (Largura - L), menor EPE, maior R_a^2 , parâmetros da regressão significativos e um padrão normal de distribuição dos resíduos; o modelo escolhido foi: Af_L , linear polinomial de ordem 2 (Tabela 1), possuindo como estimador:

$$\left(Af_L \right) = 47,3647 + 0,6211L^2$$

A validação mostrou que o modelo escolhido é bastante confiável preciso e exato, haja vista que no modelo linear sem interceptação o parâmetro β não diferiu da unidade pelo teste- t de Student ($\alpha = 0,01$) (Figura 3).

Observou-se forte dependência linear entre os dados observados e estimados pelo modelo polinomial de ordem 2 através da coeficiente de correlação de Pearson ($\hat{\rho} = 0,9687$), em que sua magnitude foi próxima a unidade e os dados mostraram o mesmo sentido de variação (Figura 3). O erro relativo médio expresso em porcentagem dos dados observados foi da ordem de 5%, consideravelmente pequeno, reforçando a acurácia do modelo escolhido (Figura 3).

A estatística (d) de Willmott revelou nítida concordância entre os dados observados e estimados ($\hat{d} = 0,9816$), reafirmando os resultados das estatísticas anteriormente executadas para o modelo testado (Figura 3).

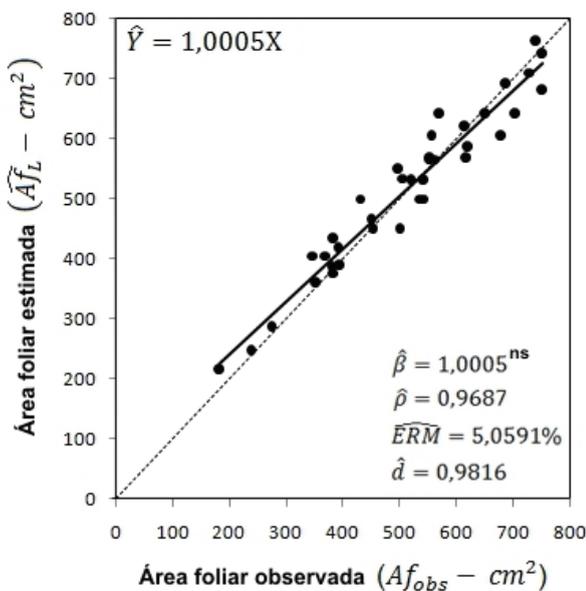


Figura 3 - Relação entre área foliar observada e estimada usando o modelo linear polinomial de ordem 2 baseado apenas na largura da folha (L) (vide Tabela 1). Encontram-se inseridas na figura os resultados das estatísticas utilizadas na validação do modelo: teste- t para o β sob a hipótese $\square H_0 : \beta_i = 1$ vs. $H_0 : \beta_i \neq 1$; coeficiente de correlação de Pearson (ρ), erro relativo médio em porcentagem dos valores observados (ERM%) e índice de concordância de Willmott (d). A linha pontilhada é a reta de equivalência 1:1. (ns) – não significativo pelo teste- t de Student ($\alpha=0,01$).

A opção pelo estimador $\left(Af_L \right)$, em detrimento dos demais se mostrou correta, haja vista os resultados obtidos pelo mesmo durante sua validação. O pequeno erro relativo médio (ERM) de 5% observado pode ser explicado pela grande variabilidade no tamanho e forma das folhas utilizadas. Este resultado não desmerece o modelo diante de seu perfeito ajuste, mostrado pelas demais estatísticas utilizadas para validar sua confiabilidade.

Desta maneira, $\left(Af_L \right)$ mostrou-se: preciso, exato, simples, rápido e prático; corroborando com os resultados de Silva et al. (1998), que trabalhando com “abobora” (não especificaram a cultivar) concluíram ser o modelo polinomial de ordem 2, o melhor para estimar a área foliar com base nas dimensões foliares destas plantas cultivadas a campo.

4. CONCLUSÃO

A área foliar de abobrinha-italiana, cultivada a campo, pode ser predita com base na largura da folha (L) através do seguinte estimador: $\left(Af_L \right) = 47,3647 + 0,6211L^2$, que por sua vez, mostrou-se preciso, exato, simples, rápido e prático; sendo confiável em prever esta importante variável agrônômica.

5. LITERATURA CITADA

ANTUNES, W.C.; POMPELLI, M.F.; CARRETERO, D.M.; DaMATTIA, F.M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*). *Annals of Applied Biology*, v.153, p.33-40, 2008.

BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; CARVALHO, L.B. Estimativa da área foliar de *Tridax procumbens* usando dimensões lineares do limbo foliar. *Planta Daninha*, v.22, n.2, p.247-250, 2004.

- BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; PITELLI, A.M.C.M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v.21, n.2, p.257-261, 2003.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agrícola**, v.62, p.305-309, 2005.
- CARPES, R.H. **Variabilidade da produção de frutos de abobrinha italiana em função do manejo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Santa Maria, RS: UFSM, 2006. 68p.
- CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Estimativa da área foliar de cinco espécies de do gênero *Amaranthus* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v.25, p.317-324, 2007.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Estatística experimental e matrizes**. Viçosa: UFV, 2006. 285p.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003. 412p.
- JANDEL SCIENTIFIC. **SigmaPlot Scientific Graphing Software – User’s Manual**. Jandel Scientific, San Rafael, CA, USA, 1986.
- JANDEL SCIENTIFIC. **Table Curve 2D Software: User’s manual**. California: Jandel Scientific, 1991. 280p.
- LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; OLIVEIRA FILHO, A.F. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupi. **Caatinga**, v.21, p.120-127, 2008.
- MELO, S.B. **Modelagem da irradiância solar global para a região de Mossoró-RN**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Viçosa, MG: UFV, 2009. 97p.
- MODENESE-GORLA DA SILVA, S.H.; LIMA, J.D.; BENDINI, H.N.; NOMURA, E.S.; MORAES, W.S. Estimativa da área foliar do antúrio com o uso de funções de regressão. **Ciência Rural**, v.38, p.10-15, 2008.
- MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.C.; CHIAVEGATO, E.J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A.V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v.64, n.1, p.15-24, 2005.
- NASCIMENTO, L.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**, v.20, n.4, p.555-558, 2002.
- OGA, F.M.; FONSECA, C.E.L. Um método rápido para estimar a área foliar de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* D.C.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.4, p.571-577, 1994.
- REIS, E.F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G.O.; PEZZOPANE, J.E.M.; TAGLIAFERRI, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia**, v.23, p.1-10, 2007.
- SEDAR, Ü.; DEMIRSOY, H. Non-destructive leaf area estimation in chestnut. **Scientia Horticulturae**, v.108, n.2, p.227-230, 2006.
- SILVA, N.F.; FERREIRA, F.A.; FONTES, P.C.R.; CARDOSO, A.A. Modelos para estimar a área foliar de abóbora por meio de medidas lineares. **Revista Ceres**, v.45, n.259, p.287-291, 1998.
- SOUZA, M.F.; LÚCIO, A.D.; STORCK, L.; CARPES, R.H.; SANTOS, P.M.; SIQUEIRA, L.F. Tamanho da amostra para peso da massa de frutos, na cultura da abóbora italiana em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.8, n.2, p.123-128, 2002.
- TAVARES-JÚNIOR, J.E.; FAVARIN, J.L.; DOURADONETO, D.; MAIA, A.H.N.; FAZUOLI, L.C.; BERNARDES, M.S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.61, p.2, 2002.