



NOTA CIENTÍFICA

Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de mandioca

Mathematical models to estimate cassava leaf area

Miguel Julio Machado Guimarães¹ 
Maurício Antônio Coelho Filho^{2*} 
Francisco de Assis Gomes Junior³ 
Matheus Almeida Machado Silva⁴ 
Carlos Vítor Oliveira Alves⁵ 
Iug Lopes⁶ 

¹ Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Av. Antônio C. Magalhães, 510, 48902-300, Juazeiro, BA, Brasil, Brasil

² Embrapa Mandioca e Fruticultura (EMBRAPA), Rua Embrapa, 44.380-000, Cruz das Almas, BA, Brasil

³ Universidade Estadual do Piauí (UESPI), R. Almir Benvindo, 64860-000, Uruçuí, PI, Brasil

⁴ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Rua Rui Barbosa, 710, 44.380-000, Cruz das Almas, BA, Brasil

⁵ Cooperativa de Trabalho e Assistência à Agricultura Familiar Sustentável do Piemonte (COFASPI), Fazenda Alagoinha, S/N, Zona Rural - Jacobina - Bahia, CEP: 44.700-000

⁶ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano (IF Baiano), BR 349, Km 14, 47600-000, Bom Jesus da Lapa, BA, Brasil

*Autor Correspondente:

E-mail: mauricio-antonio.coelho@embrapa.br

PALAVRAS-CHAVE

Modelagem foliar
Manihot esculenta Crantz
Morfometria

KEYWORDS

Leaf modeling
Manihot esculenta Crantz
Morphometry

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho determinar equações que possibilitem estimar a área foliar de genótipos de mandioca a partir de medidas biométricas das folhas. Foram coletadas folhas de 17 genótipos de mandioca e mensurados em cada unidade o comprimento, a largura do lóbulo central e a área foliar real. Os genótipos foram agrupados por meio do método de análise multivariada UPGMA, utilizando-se a razão entre o comprimento do lóbulo central com a largura do mesmo (C/L). Após o agrupamento foi realizado o teste de correlação de Pearson entre as medidas biométricas e a área foliar real. Foram testados modelos de equação linear e potencial para os grupos encontrados na análise de agrupamentos. As variáveis biométricas que apresentaram maior correlação com a área foliar foram o produto do comprimento e a largura do lóbulo, e o comprimento do lóbulo central. Quatro diferentes grupos foram encontrados, nos quais os modelos de equação linear se ajustaram melhor quando se aplica o produto entre o comprimento e a largura do lóbulo central e os potenciais quando se usa o comprimento do lóbulo central.

ABSTRACT: The objective of this study was to determine equations that allow estimating the leaf area of cassava genotypes from biometric measurements of the leaves. Leaves of 17 cassava genotypes were collected and the length and width of the central lobe and the real leaf area were measured in each unit. The genotypes were grouped using the UPGMA multivariate analysis method, using the ratio between the length and width of the central lobe (C/L). After grouping, Pearson's correlation test was performed between the biometric measurements and the real leaf area. Linear and potential equation models were tested for the groups found through cluster analysis. The biometric variables that showed the greatest correlation with the leaf area were the product of the length and width of the lobe and the length of the central lobe. Four different groups were found, in which the linear equation models were best adjusted when using the product between the length and width of the central lobe and the potentials when using the length of the central lobe.

1 Introdução

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) apresenta uma ampla diversidade genética concentrada principalmente na América latina e no Caribe. No Brasil a diversidade genética de mandioca existente representa uma ampla base genética para programas de melhoramento com a cultura nos trópicos, por concentrar genes que conferem resistência às principais pragas e doenças que afetam o cultivo, além de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (Coelho Filho et al., 2012; Fukuda, 1999).

Para analisar a variação morfológica entre os genótipos de mandioca, Fukuda & Guevara (1998) propuseram uma série de descritores morfológicos e agrônômicos, nos quais, em trabalhos posteriores, verificou-se uma amplitude dos coeficientes de variação de 28,56% na relação comprimento/largura do lóbulo, 32,66% no comprimento do lóbulo central e 40,66% na largura do lóbulo central (Ledo et al., 2011), comprovando assim a grande variabilidade morfológica da cultura.

Dentre os descritores propostos por Fukuda & Guevara (1998), a área foliar (AF) é uma informação de extrema importância, pois a mesma é amplamente conhecida por ser um parâmetro indicativo de produtividade. O processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e da sua conversão em energia química. Logo, a superfície foliar é base para o rendimento potencial de uma cultura. Além disso, o conhecimento da AF permite a estimativa da perda de água, uma vez que a folha é o principal órgão envolvido no processo de transpiração, responsável pela troca gasosa com o ambiente (Coelho Filho et al., 2012; Posse et al., 2009).

Na determinação da AF das plantas podem ser usados métodos diretos e indiretos, destrutivos ou não. Os métodos diretos estão relacionados às medidas tomadas diretamente na planta, sendo muito importante para estimativa adequada da área foliar total da planta realizar uma amostragem representativa (Coelho Filho et al., 2012). Os métodos indiretos se baseiam na estimativa a partir da observação de outras variáveis, podendo ser realizada com ou sem contato à planta. Os métodos não destrutivos permitem um acompanhamento do desenvolvimento da área foliar da cultura no tempo, pois não danificam as plantas, diferentemente dos métodos destrutivos.

Para estimativa da área do limbo foliar, vários autores sugerem o uso de modelos matemáticos que apresentam boas correlações entre parâmetros dimensionais das folhas com a área foliar da mesma (Candido et al., 2013; Schmildt et al., 2017; Silva et al., 2015). Uma das vantagens de se dispor desses modelos é a facilidade de se obter as variáveis independentes, os mais utilizados são aqueles que usam o comprimento da nervura principal, a largura máxima e as relações entre essas medidas.

Com isso, objetivou-se determinar equações que possibilitem estimar a área foliar de genótipos de mandioca a partir de medidas biométricas das folhas.

2 Material e Métodos

O estudo foi realizado no banco ativo de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, situada no município de Cruz das Almas-BA (12°40'31" S, 39°05'17" W e 220m), onde foram coletadas folhas de 17 genótipos de mandioca: Rosa branca, Talo branco, Rosinha, Abóbora, Dona

rosa, Platina, Manteiga, Casca roxa, Gema de ovo, Eucalipto, Branca, Dourada, Kiriris, Imbé, Formosa, Saracura e Amarela I.

Foram coletadas de 50 a 60 folhas por genótipo, com a máxima faixa de abrangência possível, variando do menor ao maior tamanho observado de cada genótipo. As folhas foram colocadas em saco de papel, levadas até o laboratório, retirados os pecíolos e realizadas as medidas biométricas. Para cada genótipo foram mensurados a largura (L), o comprimento do lóbulo central (C) e o produto entre o comprimento e a largura do lóbulo central (CL). Para determinar a área de cada folha (AF) foi utilizado o medidor de área foliar AM300 ADC BioScientific Ltd., com uma resolução de 0,065 mm² e uma precisão de $\pm 2\%$. A correlação de Pearson foi usada para determinar o grau de correlação entre as variáveis avaliadas.

Os parâmetros biométricos do lóbulo central foram mensurados seguindo a metodologia de Fukuda & Guevara (1998), na qual o comprimento se mede a partir do ponto de inserção do lóbulo e a largura se mede na parte mais larga do mesmo.

A análise multivariada de agrupamento foi realizada com o objetivo de agrupar os genótipos semelhantes em relação à razão entre o comprimento do lóbulo central com a largura do mesmo (C/L). Para a formação dos grupos, adotou-se a medida de dissimilaridade da distância euclidiana, e, para identificar a similaridade entre grupos, como estratégia de agrupamento, aplicou-se o método UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Average*), que utiliza as médias aritméticas (não ponderadas) das medidas de dissimilaridade, o que evita caracterizar a dissimilaridade por valores extremos entre os objetos considerados. A construção do dendrograma é estabelecida pelos modelos ajustados de menor dissimilaridade (Cruz et al., 2004; Puiatti et al., 2014). Em seguida os grupos encontrados foram classificados de acordo com a C/L média do lóbulo central (C/Lm), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Classificação em grupos dos genótipos de mandioca em função da razão do comprimento e largura do lóbulo central da folha.

Table 1. Classification to groups of cassava genotypes according to the ratio of length and width of the central lobe of the leaf.

C/Lm	Grupo	Forma do lóbulo central*
< 4	I	Ovoide
4 – 5	II	Obovada
5 – 7	III	Lanceolada
> 7	IV	Reta ou linear

*Fonte: Adaptado de Fukuda & Guevara (1998).

*Font: Adapted from Fukuda & Guevara (1998).

Para cada grupo formado foram testados modelos de regressão linear e potencial, usando-se as variáveis com maiores correlações como variáveis independentes e a AF como variável dependente.

Para avaliar a precisão dos dados foram estimados os coeficientes de determinação dos modelos, os quais indicam o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média. Para avaliar a exatidão empregou-se o índice de concordância sugerido por Willmott et al. (1985), o qual relaciona o afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Seus valores variam de zero, para

nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita. O índice de Willmott (d) é dado pela Equação 1.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{y}'_i| + |y'_i|)^2}$$

Sendo: d = adimensional variando de 0 a 1; \hat{y}_i = valor de área foliar estimado pelo modelo; y_i = valor de área foliar observado; $\hat{y}'_i = \hat{y}_i - \bar{y}$; $y'_i = y_i - \bar{y}$ e \bar{y} = média dos valores observados.

Os melhores modelos foram selecionados em função do coeficiente de determinação (R^2).

3 Resultados e Discussão

Com base no dendrograma (Gráfico 1) formaram-se quatro grupos quando adotado o “corte” no valor de 5,46 da distância euclidiana média. Cruz et al. (2004) recomendam que o “corte” seja feito onde possa ser observada mudança brusca nas características de interesse. O Grupo I foi formado pelas folhas classificadas como ovoide (C/Lm = 3,54) e foi representado pelos genótipos: Platina, Talo branco, Rosa branca, Rosinha, Abóbora e Dona rosa.

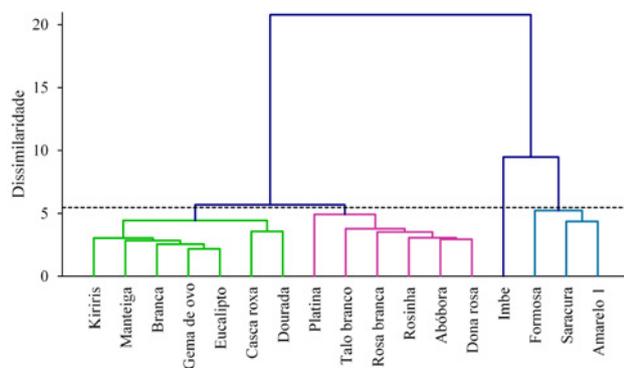


Gráfico 1. Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre 17 genótipos de mandioca, obtido pelo método de agrupamento UPGMA.

Graph 1. Dendrogram representative of the genetic dissimilarity between 17 genotypes of cassava, obtained by the UPGMA clustering method.

O Grupo II foi composto pelos genótipos Kiriris, Manteiga, Branca, Gema de ovo, Eucalipto, Casca roxa e Dourada, e apresentou C/Lm de 4,24, sendo estes classificados como obovada. O genótipo Imbé (C/Lm = 6,33) formou um grupo unitário, Grupo III classificado como lanceolada. O Grupo IV apresenta os genótipos classificados como reto ou linear, com C/Lm = 7,36, formado pelos genótipos Formosa, Saracura e Amarelo I.

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas. Verifica-se que em todas as correlações os coeficientes foram positivos, porém, apresentaram magnitudes diferentes dependendo das características envolvidas. As maiores correlações foram observadas entre as variáveis CL e AF (0,92), seguidas da C e AF (0,89), comprovando a existência de forte associação entre estas variáveis.

O produto entre o comprimento a largura de folhas é muito utilizado para estimar a área foliar de diversas culturas com folhas simples. Candido et al. (2013) verificaram que os maiores valores de R^2 foram encontrados quando se empregou esta variável para ajustar equações que permitissem estimar a área foliar de variedades de *Combretum leprosum* Mart. Silva et al. (2013) ao estabelecerem equações para estimar a área foliar de plantas forrageiras verificaram que as equações que foram

ajustadas usando tal variável como independente apresentaram valores de R^2 superiores quando comparados às que recorreram somente o comprimento ou a largura.

Tabela 2. Correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

Table 2. Pearson's correlation between the variables analyzed.

Variáveis	C	L	CL	AF
C	1	0,60	0,85	0,89
L	-	1	0,90	0,75
CL	-	-	1	0,92
AF	-	-	-	1

C – comprimento do lóbulo central; L – largura do lóbulo central; CL – produto entre o comprimento e a largura do lóbulo central; AF – área foliar.

C – central lobe length; L – central lobe width; CL – product between the length and width of the central lobe; AF – leaf area.

As folhas de mandioca apresentam grande variabilidade no formato do lóbulo central. Verificou-se que os formatos variaram de ovoide a linear, segundo a classificação de Fukuda & Guevara (1998). No Gráfico 2 são apresentadas as equações ajustadas para cada grupo foliar. Foi observado que os modelos de potência apresentaram melhores ajustes quando utilizado o comprimento do lóbulo central (C) como variável independente. Já os modelos lineares apresentaram melhores ajustes quando usado o produto entre o comprimento e a largura do mesmo (CL).

A utilização das equações matemáticas que englobam grupos de genótipos é de elevada importância quando se trabalha com muitos genótipos ou genótipos ainda não estudados, o que é frequente. Os modelos propostos para os grupos apresentaram valores do índice de Willmott et al. (1985) muito próximos de um, indicando uma alta proximidade entre os valores reais e os estimados (Figura 2). Foi observado melhores ajustes dos modelos potenciais quando se utilizou o C como variável independente, e melhores ajustes de modelos lineares com o CL. O grupo I, que representa as folhas com C/L inferior a 4, apresentou maiores valores de R^2 e índice de Willmott para as equações $AF = 0,5101(C)^{2,164}$ e $AF = 2,8979(CL)$. O grupo II, com C/L entre 4 e 5, para as equações $AF = 0,3855(C)^{2,1914}$ e $AF = 2,9089(CL)$, e os grupos III e IV (C/L entre 5 e 7, e C/L maior que 7, respectivamente) apresentaram melhores ajustes com as equações $AF = 0,1812(C)^{2,4132}$ e $AF = 3,559(CL)$; e $AF = 0,3592(C)^{2,1168}$ e $AF = 4,1233(CL)$, respectivamente.

Em termos gerais, as equações tipo linear obtiveram valores de R^2 menores que as do tipo potencial. Tal resultado já fora observado por diversos autores para culturas como o cacaueteiro (Schmidt et al., 2017), canola (Tartaglia et al., 2016) e mangueira (Lima et al., 2012).

Esses modelos permitem estimar a área foliar de plantas desses genótipos de mandioca por meio da mensuração dos parâmetros biométricos das folhas, posto que a área foliar total da planta (AFT) deve ser quantificada pelo somatório da área de todas as folhas. Alguns autores (Posse et al., 2009; Zucoloto et al., 2008) sugerem ainda determinar a AFT a partir de amostragem, obtendo-se uma boa estimativa média da área foliar, sendo a AFT o produto da área foliar média com o número de folhas da planta.

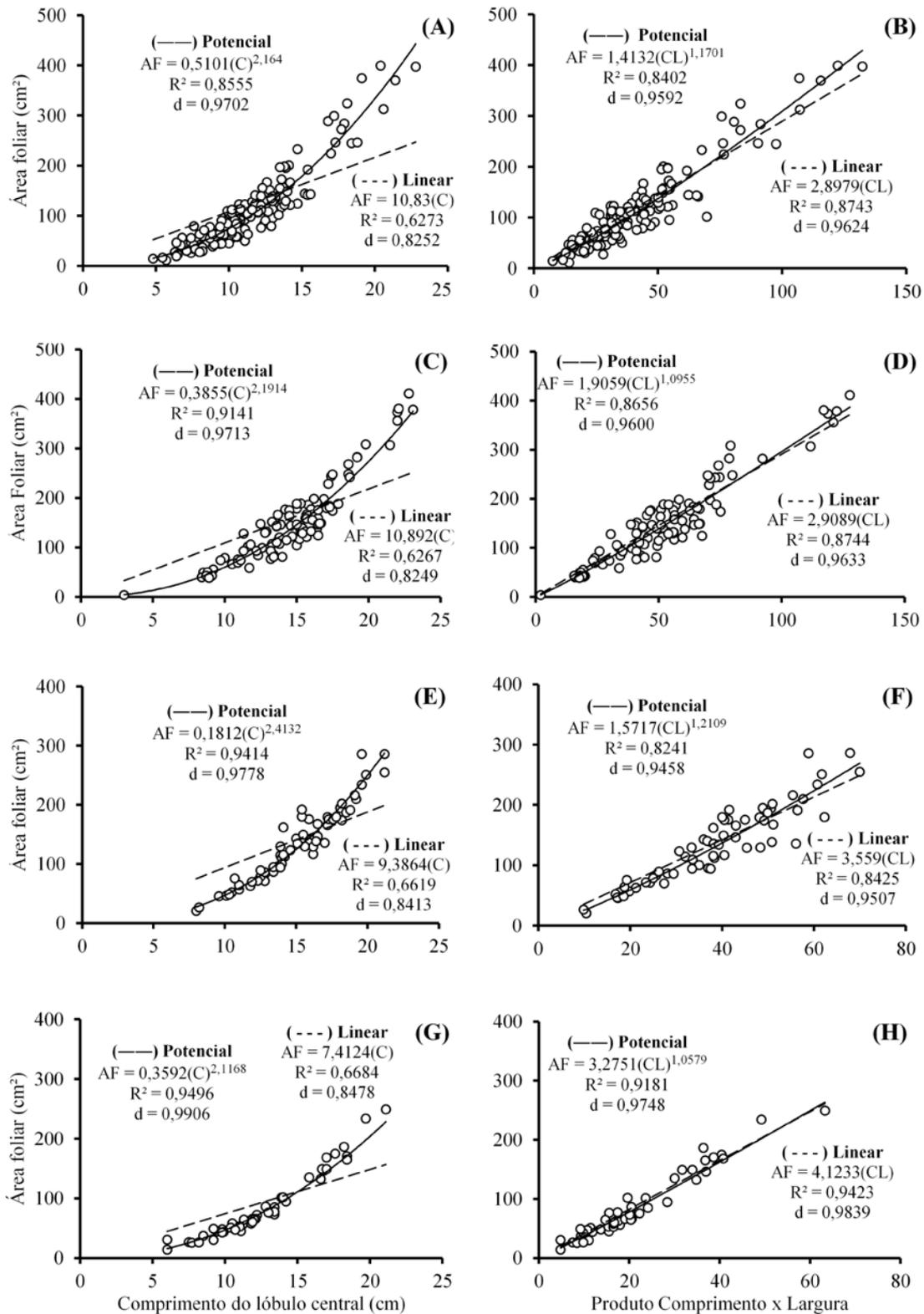


Gráfico 2. Regressões para estimativa da área foliar de mandioca, classificadas em função da razão do comprimento do lóbulo central e a largura do mesmo, em que: A e B – Grupo I; C e D – Grupo II; E e F – Grupo III; e G e H – Grupo IV. C – comprimento do lóbulo central; CL – produto entre o comprimento e a largura do lóbulo central; e AF – área foliar.

Graph 2. Regressions to estimate the foliar area of cassava, classified as a function of the ratio of length and width of the central lobe of the leaf, in which: A and B – Group I; C and D – Group II; E and F – Group III; and G and H – Group IV. C – central lobe length; CL – product between the length, and width of the central lobe; and AF – leaf area.

4 Conclusões

O agrupamento proposto em função da razão entre o comprimento do lóbulo central e a largura do mesmo resultou em equações com bons coeficientes de determinação, podendo ser utilizado como alternativa para a estimativa da área foliar dos genótipos de mandioca.

Medidas de área foliar dos genótipos Manteiga, Casca roxa, Gema de ovo, Eucalipto, Branca, Dourada, Kiriris, Imbé, Formosa, Saracura e Amarela I podem ser estimadas a partir de equações de potenciais e Rosa Branca, Talo branco, Rosinha, Abóbora, Dona rosa e Platina a partir de equações lineares com boa precisão e exatidão.

O comprimento do lóbulo central é o parâmetro biométrico que proporcionou os melhores ajustes dos modelos potenciais. Os modelos lineares se ajustam melhor quando se emprega o produto entre o comprimento e a largura do lóbulo central.

Referências

- CANDIDO, W. S.; COELHO, M. F. B.; MAIA, S. S. S.; CUNHA, C. S. M.; SILVA, R. C. P. Modelo para estimar a área foliar de *Combretum leprosum* Mart. *Acta Agrônômica*, Palmira, v. 62, n. 1, p. 37-41, 2013.
- COELHO FILHO, M. A.; VILLA-NOVA, N. A.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; RIGHI, C. A. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.16, n. 5, p. 529-538, 2012.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. FUKUDA, W. M. G.; GUEVARA, C. L. *Descritores morfológicos e agrônômicos para a caracterização de mandioca (Manihot esculenta Crantz)*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1998.
- FUKUDA, W. M. G. Melhoramento da Mandioca. In: BOREM, A. (ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 409-428, 1999.
- LEDO, C. A. DA S.; ALVES, A. A. C.; OLIVEIRA, M. M. DE ; SANTOS, A. S.; TAVAREZ FILHO, L. F. DE Q. *Caracterização morfológica da coleção de espécies silvestres de Manihot (Euphorbiaceae*

Magnoliophyta) da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011.

- 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*, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 974-980, 2012.
- POSSE, R. P.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M. G.; GOTTARDO, R. D. Total leaf area of papaya trees estimated by a non destructive method. *Scientia Agrícola*, São Paulo, v. 66, n. 4, p. 462-466, 2009.
- PUIATTI, G.; CECON, P. NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A.; FINGER, F.; PUIATTI, M.; SILVA, F.; SILVA, A. Comparação dos métodos de agrupamento de Tocher e UPGMA no estudo de divergência genética em acessos de alho. *Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto*. Ouro Preto, v. 3, n. 3, p. 275-279, 2014.
- SCHMILDT, E. R.; TREVISAN, E. BELIQUE, M.; SCHMILDT, O. Modelos alométricos para determinação da área foliar de cacaueteiro 'PH-16' em sombreamento e pleno sol. *Revista Agro@ambiente On-line*, Roraima, v. 11, n. 1, p. 47-55, 2017.
- SILVA, S. F.; CABANEZ, P. A.; MENDONÇA, R. F.; PEREIRA, L. R.; AMARAL, J. A. T. Modelos alométricos para estimativa da área foliar de mangueira pelo método não destrutivo. *Revista Agro@ambiente On-line*, Roraima, v. 9, n. 1, p. 86-90, 2015.
- SILVA, W. L.; COSTA, J. P. R.; CAPUTTI, G. P.; GALZERANO, L.; RUGGIERI, A. C. Medidas lineares do limbo foliar dos capins xaraés e massai para a estimativa da área foliar. *Biotemas*, Florianópolis, v. 26, n. 3, p. 11-18, 2013.
- TARTAGLIA, F. L.; RIGHI, E. Z.; ROCHA, L.; LOOSE, L. H.; MALDANER, I. C.; HELDWEIN, A. B. Non-destructive models for leaf area determination in canola. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 551-556, 2016.
- WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Malden, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.
- ZUCOLOTO, M. LIMA, J. S. S.; COELHO, R. I. Modelo matemático para estimativa da área foliar total de bananeira 'Prata-anã'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1152-1154, 2008.

Contribuição dos autores: Miguel Julio Machado Guimarães realizou o experimento e contribuiu com a revisão bibliográfica e científica; Maurício Antônio Coelho Filho orientou a pesquisa e contribuiu com a escrita científica; Francisco de Assis Gomes Junior contribuiu com o desenvolvimento do experimento em campo; Matheus Almeida Machado Silva contribuiu com o desenvolvimento do experimento em laboratório; Carlos Vítor Oliveira Alves contribuiu com a revisão bibliográfica e científica; Iug Lopes contribuiu com a revisão bibliográfica e científica.

Fontes de financiamento: O experimento foi realizado nas dependências da Embrapa Mandioca e Fruticultura, sob a orientação do pesquisador Maurício Antônio Coelho Filho.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.