



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS II**

**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRARIAS E AMBIENTAIS  
DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGIA E AGROPECUARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA**

**ANA PAULA SILVA MACÁRIO**

**MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE *Moringa oleifera* POR MÉTODO NÃO DESTRUTIVO**

**LAGOA SECA  
2019**

ANA PAULA SILVA MACÁRIO

**MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE *Moringa oleifera* POR MÉTODO NÃO DESTRUTIVO**

Artigo apresentado ao Departamento do Curso Agroecologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Agroecologia.

**Área de concentração:** Agronomia

**Orientador:** Prof. Dr. José Félix de Brito Neto

**Coorientador:** Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz

**LAGOA SECA  
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M115m Macario, Ana Paula Silva.  
Modelos alométricos para estimativa de área foliar de *Moringa oleifera* por método não destrutivo. [manuscrito] / Ana Paula Silva Macario. - 2019.  
26 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agroecologia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2019.  
"Orientação : Prof. Dr. José Félix de Brito Neto , Coordenação do Curso de Agroecologia - CCAA."  
"Coorientação: Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz , Coordenação do Curso de Agroecologia - CCAA."  
1. Folíolos. 2. Medidas lineares. 3. Modelagem empírica. 4. Validação de modelos. I. Título  
21. ed. CDD 580

ANA PAULA SILVA MACÁRIO

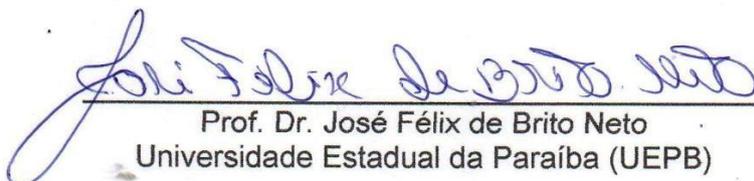
MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE *Moringa*  
*oleifera* POR MÉTODO NÃO DESTRUTIVO

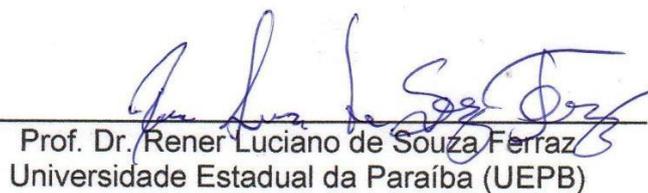
Artigo apresentado ao Departamento do  
Curso Agroecologia da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito  
parcial à obtenção do título de Graduado  
em Agroecologia.

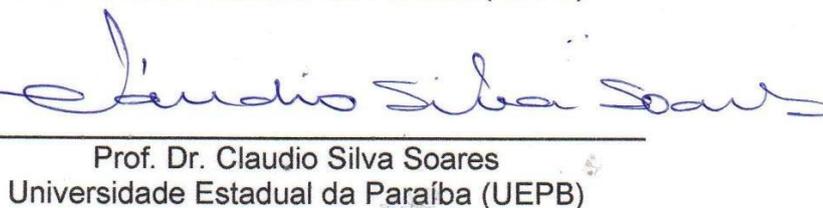
Área de concentração: Agronomia

Aprovada em: 31/07/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. José Félix de Brito Neto  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Prof. Dr. Claudio Silva Soares  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Ao meu avô João Guedes, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Agradeço a minha mãe Maria do Socorro, que me deu apoio e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai Paulo, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que foi muito importante.

Obrigada meus irmãos e sobrinhos, por todo apoio e compreensão.

Ao Campus II da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB por me dar condições para a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. José Félix de Brito Neto pela orientação, pela ajuda e conselhos em diversos momentos, pelo incentivo constante, pela amizade e boas conversas;

Ao Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz pela contribuição e orientação deste trabalho;

Aos amigos Diego Albuquerque, por ter sido a pessoa que me fez acreditar em mim mesmo, que era possível realizar o sonho e por ser amigo e companheiro para todas as horas;

A todos os amigos e companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação.

A todos os professores das disciplinas cursadas no Curso que me forneceram a base necessária para pesquisar o assunto de forma consistente e objetiva;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>18</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>19</b>

# MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE *Moringa oleifera* POR MÉTODO NÃO DESTRUTIVO

## ALOMETRIC MODELS FOR *Moringa oleifera* LEAF AREA ESTIMATE BY NON-DESTRUCTIVE METHOD

Ana Paula Silva Macário\*

### RESUMO

A *Moringa oleifera* é uma espécie grande importância econômica, social e ambiental, sendo bastante empregada para múltiplos usos. Assim, objetivou-se ajustar modelos de regressão para estimativa de área foliar por método não destrutivo a partir de medidas lineares de folíolos de mudas de *M. oleifera*. A pesquisa foi realizada no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual da Paraíba. Foram coletados 300 folíolos de *M. oleifera*, nos quais foram realizadas medidas para determinação do comprimento (C) e da largura (L) e, posteriormente, área foliar foi determinada utilizando-se do *software* ImageJ<sup>®</sup>. Utilizando-se de 200 folíolos, foram ajustados modelos de regressão univariados utilizando-se C, L ou produto destas dimensões (CL) e um modelo bivariado que utilizava C e L como variáveis preditoras da área foliar como variável dependente. Com os 100 folíolos remanescentes, foi realizada a avaliação da relação entre a área foliar observada e a estimada, correlação de Pearson “r”; índice de concordância de Willmott “d” e de confiança “c”; e erro médio quadrático “RMSE”. Verificou-se que modelos alométricos podem ser usados com elevada precisão e performance para estimativa de área foliar de *M. oleifera* por método não destrutivo, sendo recomendado o modelo  $AFE = 0,035 + 0,720 * CL$ . Pesquisas futuras são sugeridas para ajustes de modelos multivariados para estimativa de área foliar de *M. oleifera* a partir de tamanhos de folíolos variados, folhas completas, massa fresca e seca das folhas, histórico de vida e idade das plantas.

**Palavras-chave:** Folíolos. Medidas lineares. Modelagem empírica. Validação de modelos.

### ABSTRACT

*Moringa oleifera* is a species of great economic, social and environmental importance, being very used for multiple uses. The objective of this study was to adjust regression models for leaf area estimation by non-destructive method using linear measurements of *M. oleifera* leaflets. The research was carried out at the Center of Agrarian and Environmental Sciences of the State University of Paraíba. A total of 300 *M. oleifera* leaflets were collected, in which measurements were made to determine the length (L) and width (W), and later, the leaf area was determined using ImageJ<sup>®</sup> software. Using 200 leaflets, univariate regression models were adjusted using L, W or product of these dimensions (LW) and a bivariate model that used L and W as predictors of leaf area as dependent variable. With the remaining 100 leaflets, the relationship between observed and estimated leaf area was evaluated, Pearson correlation "r"; Willmott's concordance index "d" and confidence "c"; and mean square error "RMSE". It was verified that allometric models can be used with high precision, accuracy and performance to estimate *M. oleifera* leaf area by non-destructive method, and the model  $ELA = 0.035 + 0.720 * LW$  is recommended. Future research is suggested for adjustments of multivariate models to estimate *M. oleifera* leaf area from varied leaflet sizes, complete leaves, fresh and dry leaf mass, life history and plant age.

**Keywords:** Leaflets. Linear measurements. Empirical modeling. Models Validation.

## 1. INTRODUÇÃO

A *Moringa oleifera* Lamark é um membro da família de plantas Moringaceae, angiospermas perenes, que inclui 12 outras espécies. Nativa das partes sub-Himalaia do norte da Índia, é cultivada em todas as áreas tropicais e subtropicais do mundo (ROLIM et al., 2016). No Brasil, foi introduzida na década de 1950 (SILVA et al., 2013) e seu cultivo vem se expandindo no país, por ser uma espécie perene, de fácil cultivo e com múltiplas utilidades (LISITA, 2018).

---

As folhas da *M. oleifera* estão sendo amplamente estudadas, visto que possuem grande potencial nutricional (NKAKWANA et al., 2014). Em relação à nutrição humana, as folhas desta espécie possuem elevado teor de proteínas, são ricas em aminoácidos essenciais, minerais, vitaminas e substâncias antioxidantes, constituindo-se em um alimento funcional altamente nutritivo (GOPALAKRISHNAN et al., 2016). Tem sabor agradável, podendo ser consumidas cozidas em sopas, guisados e pratos variados, sendo seu sabor ligeiramente picante. As folhas e hastes podem ser secas e usadas como condimento, polvilhando sobre os alimentos (HELVIOB, 2007).

A folha é o órgão fotossintético mais importante das plantas. Folhas participam em muitos processos fisiológicos que resultam em compensações entre fixação de carbono, perda de água, e defesa do ataque herbívoro (SHI et al., 2019). A superfície da folha apresenta-se essencialmente plana e achatada, o que facilita, consideravelmente, o aumento da relação superfície/volume, permitindo assim, a realização das trocas gasosas (ALMEIDA, 2018). Ressalta-se que a área foliar é frequentemente utilizada para medir o crescimento das plantas, estando diretamente relacionada à fotossíntese e taxa de transpiração, entre outros processos fisiológicos (TOEBE et al., 2019).

A área foliar apresenta estreita relação com a interceptação da energia solar (TRAUTENMÜLLER et al., 2017) que é imprescindível para o processo fotossintético e é muito utilizada em análises relacionadas ao acúmulo de CO<sub>2</sub> atmosférico (LIMA et al., 2012). A estimativa da área foliar pode ser realizada através de métodos destrutivos e não destrutivos (MALAGI et al., 2011). Estes pesquisadores reportam que aqueles métodos que exigem a retirada da folha ou de outras estruturas são denominados destrutivos ou laboratoriais, sendo que as desvantagens desse método é não ser aplicável em estudos onde a quantidade de amostras é limitada.

Por outro lado, com os métodos não destrutivos, as medidas são realizadas nas plantas, sem amostragens destrutivas, preservando sua integridade e permitindo a continuidade das

medidas na mesma planta durante todo ciclo de desenvolvimento (ADAMI et al., 2008; BAKHSHANDEH et al., 2011). O uso de métodos não destrutivos ganha importância em pequenas populações de plantas, onde é possível realizar medições ao longo do cultivo e que se pretende utilizar essas plantas para avaliação posterior, consistindo em métodos rápidos e mais fáceis de serem executados e com boa precisão para o estudo do crescimento de plantas (DEMIRSOY, 2009; BOSCO et al., 2012).

Um dos métodos não destrutivos para estimar a área foliar é relacioná-la com medidas lineares das folhas por meio de equações de regressão, configurando-se em método, simples, rápido e de baixo custo (MENDONÇA et al., 2005). Esses modelos apresentam boa precisão para estimar a área foliar real em função das dimensões lineares, envolvendo medidas de comprimento, largura e área foliar de amostras de folhas, a fim de ajustar equações de regressão e escolher aquelas que apresentam melhor precisão estatística para estimar a área de amostras subsequentes (ARAUJO et al., 2005).

Modelos de regressão linear uni e bivariados vêm sendo empregados com eficiência para estimativa de área foliar a partir de dimensões lineares de folhas, por exemplo em espécies de folhas largas (WANG et al., 2019), como abobrinha (TOEBE et al., 2019). Além disso, esses modelos também tem sido ajustados para situações em que a massa fresca e seca e formato das folhas são consideradas na estimativa de área foliar (HUANG et al., 2019; SHI et al., 2019). Neste contexto, embora a área foliar de *M. oleifera* seja importante para o estudo de crescimento da espécie (AFZAL et al., 2019; HASAN et al., 2019), não foram encontrados na literatura relatos de ajustes de modelos lineares para estimativa de sua área foliar a partir de dimensões das folhas ou de folíolos.

Objetivou-se com este trabalho ajustar modelos lineares univariados e bivariado para estimativa de área foliar por método não destrutivo a partir de medidas morfométricas lineares de folíolos de mudas de *Moringa oleifera*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada entre os meses de outubro de 2018 e março de 2019, no Laboratório de Microbiologia do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais (CCAA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizado no município de Lagoa Seca – PB, nas coordenadas de Latitude 7° 09" S, Longitude 35° 52" W e altitude de 634 m (SOARES et al., 2017). O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo As" (tropical úmido), com temperatura média anual de 22 °C, sendo a mínima de 18 e máxima de 33 °C, precipitação pluviométrica de 800 mm e umidade relativa do ar de 80% (SILVA et al., 2019).

Foram utilizados 300 folíolos de *M. oleifera* coletadas de mudas de seis meses de idade, cultivadas em ambiente telado com 15% de redução da luminosidade original. O cultivo foi realizado em recipientes de polietileno de 2 dm<sup>3</sup> de volume preenchidos com substrato constituído de areia e esterco bovino na proporção de 3:1. Conforme Wang et al. (2019), foram realizadas análises morfométricas para determinação do comprimento (C, mm) e largura (L, mm) dos folíolos. A largura do folíolo correspondeu a maior distância no sentido perpendicular ao comprimento do folíolo, e o comprimento foi considerado como a distância entre a base distal do pecíolo e a extremidade do terminal.

Após a realização das medidas morfométricas, os folíolos foram distribuídos em superfície contrastante de coloração branca e escaneados utilizando-se de impresso multifuncional Epson® EcoTank L375, adotando-se régua graduada em milímetros como referência de medida na imagem. As medidas de área foliar real foram realizadas utilizando-se do *software* ImageJ®, disponível gratuitamente via internet (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>). Este software captura a imagem de todos os folíolos de uma folha completa e através de procedimentos de contraste de cores calcula a área total real (HOLGUÍN et al., 2019).

De posse dos dados da análise morfométrica e da área foliar, os folíolos foram classificados de acordo com o comprimento, a largura e a área (pequenos, médios e grandes). As classes pequeno e grande foram baseadas no primeiro e terceiro quartis da curva de distribuição de frequências de comprimento, largura e área foliar. Os folíolos cujas medidas de comprimento, largura e área eram equidistantes entre grandes e pequenos foram consideradas como médios (SOUZA et al., 2019). Para evitar perda de precisão nas estimativas dos coeficientes de regressão, antes de ajustar os modelos alométricos entre a área foliar observada e as medidas de comprimento e largura dos folíolos, foi avaliado o grau de colinearidade entre as medidas de C e L. Para tanto, foi calculado o fator de inflação da variância (FIV) pelo método de Marquardt (1970), descrito por Wang et al. (2019), utilizando-se da equação 1.

$$FIV = \frac{1}{1-r^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que *r* é o coeficiente de correlação entre C e L. Ressalta-se que, se o valor de FIV for maior que 10, isso indica que C e L possuem multicolinearidade e, portanto, devem ser desconsiderados para ajuste de modelos empíricos para prever área foliar; se o valor FIV for menor que 10, a multicolinearidade entre C e L é insignificante, de modo que estas medidas dos folíolos podem ser mantidos no ajuste dos modelos.

Atendido o pressuposto de não haver multicolinearidade, foi modelada a relação entre

a área foliar com as dimensões lineares de comprimento (C, cm) e largura (L, cm) das folhas ou o produto entre estas variáveis (CL, cm<sup>2</sup>), por meio dos modelos descritos nas equações 2, 3, 4 e 5.

$$\text{AFO} = \beta_0 + \beta_1 * C \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{AFO} = \beta_0 + \beta_1 * L \quad \text{Eq. 3}$$

$$\text{AFO} = \beta_0 + \beta_1 * CL \quad \text{Eq. 4}$$

$$\text{AFO} = \beta_0 + \beta_1 * C + \beta_2 * L \quad \text{Eq. 5}$$

Em que AFO é a área foliar observada e representa a variável dependente;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , os parâmetros a serem estimados; C representa a variável independente comprimento; L representa a variável independente largura; e CL é variável independente representada pelo produto do comprimento pela largura dos folíolos (MORGADO et al., 2013).

Dos 300 folíolos coletados, 200 foram utilizados para ajustes dos modelos e 100 para avaliação do desempenho estatístico dos modelos ajustados, tomando-se como base a precisão, medida pelo coeficiente de correlação de Pearson “r”; a exatidão, medida pelo índice de concordância de Willmott “d” e de confiança “c”; e a performance geral do modelo medida pelo erro médio quadrático “RMSE”, sendo estas medidas estimadas utilizando-se das equações 6, 7, 8, 9 e 10 (TOEBE et al., 2012; TOEBE et al., 2019; WANG et al., 2019).

$$r = \frac{S_i M_i - \frac{S_i M_i}{N}}{N - 1 \sqrt{S_{Si} S_{Mi}}} \quad \text{Eq. 6}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (S'_i + M'_i)^2} \quad \text{Eq. 7}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - M_i)^2} \quad \text{Eq. 8}$$

$$c = \frac{S_i M_i - \frac{S_i M_i}{N}}{N - 1 \sqrt{S_{Si} S_{Mi}}} * \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (S'_i + M'_i)^2} \right) \quad \text{Eq. 9}$$

$$DP = S_i - M_i * \frac{100}{M_i} \quad \text{Eq.10}$$

Em que;  $S_i$ , indica valores simulados e  $M_i$ , valores medidos; e  $N$ , número de observações para todos os índices estatísticos.

Foram realizadas análises estatísticas descritivas para cálculo da média aritmética amostral, desvio padrão amostral, valor máximo e mínimo e estimativa dos intervalos de classes. Para tanto, foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel v. 2016 (WINSTON, 2016) e Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no resumo das análises descritivas (Tabela 1), verificou-se que folíolos de *M. oleifera* possuem comprimento médio de  $1,595 \pm 0,474$  cm, com valores variando de 0,695 cm a 2,831 cm e coeficiente de variação de 29,717, de modo que folíolos com comprimento menor ou igual a 1,407 cm são considerados pequenos, maiores que 1,407 cm e menores ou iguais a 2,119 cm são médios e maiores que 2,119 cm são grandes.

A largura média dos folíolos foi de  $1,142 \pm 0,329$  cm, variando de 0,443 a 1,950 cm, com coeficiente de variação de 28,840, sendo considerados pequenos os folíolos menores ou iguais 0,945 cm, médios aqueles maiores que 0,945 cm e menores ou iguais a 1,448 cm e aqueles maiores que 1,448 cm foram considerados grandes (Tabela 1).

Quanto à área foliar, verificou-se que os folíolos possuem área média de  $1,445 \pm 0,800$  cm<sup>2</sup>, com valores variando entre 0,253 cm<sup>2</sup> e 3,602 cm<sup>2</sup>, com coeficiente de variação de 55,365, em que os folíolos com área menor ou igual a 1,369 cm<sup>2</sup> foram classificados como pequenos, aqueles com área maior que 1,369 cm<sup>2</sup> e menor ou igual a 2,486 cm<sup>2</sup> foram classificados como médios e aqueles com área superior a 2,486 cm<sup>2</sup> foram considerados grandes (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo da análise descritiva e estimativa de classes de tamanhos a partir das dimensões lineares e área de folíolos de *Moringa oleifera*. Lagoa Seca, PB, 2019.

Parâmetros	Dimensões lineares de folíolos		
	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
Média aritmética amostral	1,595	1,142	1,445
Desvio padrão amostral	0,474	0,329	0,800
Máximo	2,831	1,950	3,602
Mínimo	0,695	0,443	0,253
Coeficiente de variação (%)	29,717	28,840	55,365
Estimativa de classes	Intervalos de classes		
Classe de folíolos pequenos	≤ 1,407	≤ 0,945	≤ 1,369

Classe de folíolos médios	$> 1,407 \leq 2,119$	$> 0,945 \leq 1,448$	$> 1,369 \leq 2,486$
Classe de folíolos grandes	$> 2,119$	$> 1,448$	$> 2,486$

Os valores médios de comprimento e largura de folíolos encontrados nesta pesquisa foram semelhantes aos 0,9 a 1,8 cm de comprimento e 0,5 a 1,5 cm de largura relatados por Souto e Maior Júnior (2018). Nesta pesquisa, a ocorrência de folhas maiores que as relatadas por estes pesquisadores pode estar relacionada à menor disponibilidade de luz no ambiente telado com 15% de redução de luminosidade, isso porque, em condições de restrição luminosa, as plantas de pleno sol se adaptam aumentando a área e reduzindo a espessura do limbo foliar, fenômeno que comumente ocorre em função de diminuição na espessura do parênquima paliádico e do lacunoso (ROSSATO et al., 2010, SANTOS et al., 2014).

É possível que o aumento no tamanho das folhas tenham ocorrido como uma estratégia das plantas para otimizar a captação da radiação na condição de redução de 15% da luminosidade, o que contribui para uma melhor absorção da radiação pelos tecidos do mesófilo, notadamente pelo incremento de tecidos fotossintetizantes, além de contribuir para evitação de possíveis prejuízos aos eventos metabólicos ou de desenvolvimento da planta dependentes de das condições de luminosidade (PTUSHENKO et al., 2016; ARAÚJO et al., 2019).

Esta caracterização morfométrica dos folíolos de *M. oleifera* é de fundamental importância para o entendimento da dinâmica de dimensões e área, notadamente devido à importância das variáveis de comprimento e largura das folhas para estudos com espécies vegetais (CHAGAS et al., 2008), sobretudo para garantia de maior precisão na estimativa de área foliar por método não destrutivo. De fato, a contribuição desta pesquisa reside no fato de que não foram relatados na literatura limites para classificação do tamanho dos folíolos de *M. oleifera*. Souza et al. (2019), trabalhando com sementes crioulas de feijão, estimaram classes de tamanhos de sementes e reportaram que estas informações são imprescindíveis para seleção de sementes para cultivo.

A partir da avaliação do índice de inflação da variância (IFV), não foi verificada colinearidade entre o comprimento e a largura dos folíolos, uma vez que o valor de FIV (4,574) foi menor que 10, condição *sine qua non* para utilização das dimensões dos folíolos para ajuste dos modelo (WANG et al., 2019). Assim, os resultados das análises e ajustes de modelos de regressão univariados e bivariado a partir da área foliar observada e dimensões lineares de folíolos de *M. oleifera* estão apresentados na Tabela 2. Todos os modelos ajustados tiveram elevado coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 0,896$ ), o que indica que o comprimento e a largura dos folíolos proporcionam estimativa satisfatória da área foliar da espécie.

Verificou-se que para cada cm de comprimento de folíolo incrementado ocorre aumento significativo de  $1,598 \pm 0,039 \text{ cm}^2$  na área foliar, em que o comprimento dos folíolos explica 80% da área foliar. A largura dos folíolos explica 93% da área foliar, sendo que cada

cm de largura estima área de  $2,340 \pm 0,047 \text{ cm}^2$ . Já o produto entre o comprimento e a largura dos folíolos explica 98% da área foliar, sendo que para cada  $\text{cm}^2$  de produto é estimada área de  $0,720 \pm 0,007 \text{ cm}^2$ . Considerando o modelo bivariado, cada cm de comprimento incrementa  $0,737 \pm 0,045 \text{ cm}^2$  de área e cada cm de largura incrementa  $1,402 \pm 0,065 \text{ cm}^2$  de área foliar, em que estas dimensões (C e L) juntas explicam 97% da área foliar (Tabela 2).

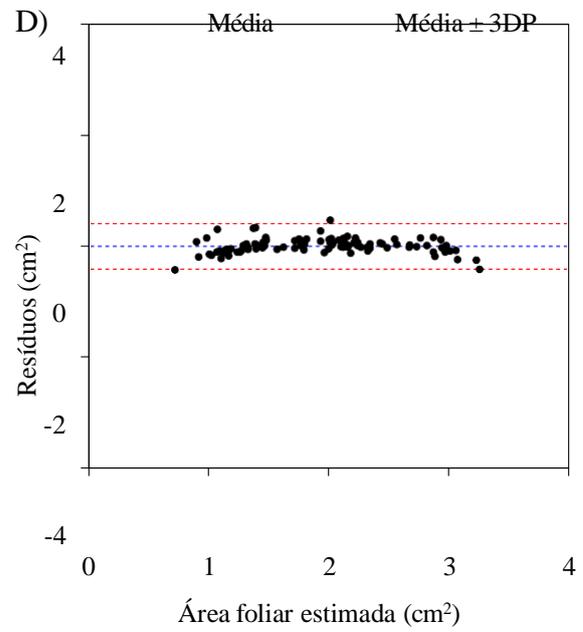
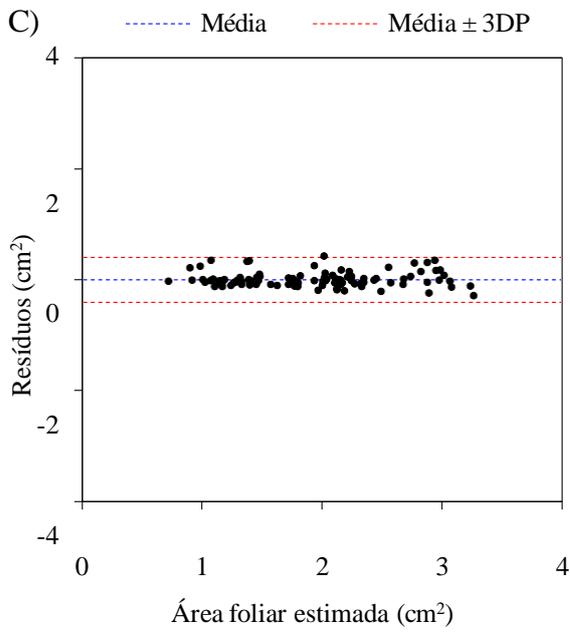
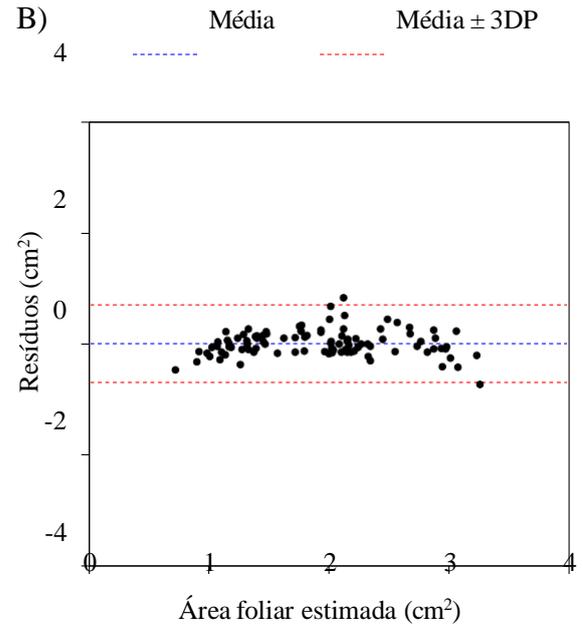
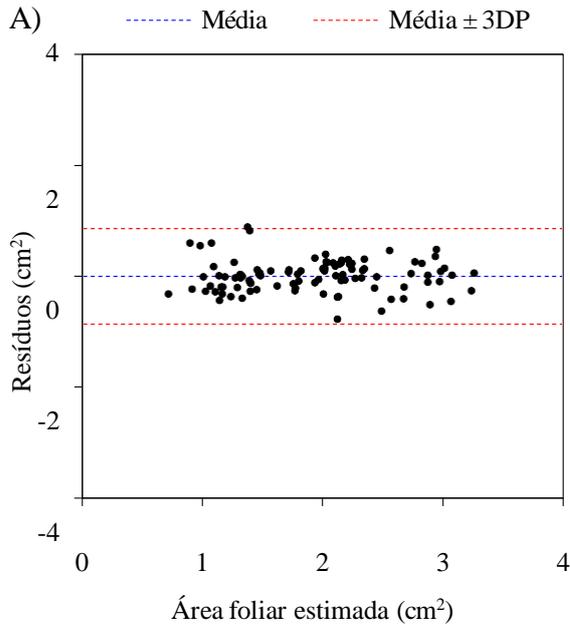
**Tabela 2.** Coeficientes  $\pm$  erros padrão, valor calculado do F e do coeficiente de determinação ajustado dos modelos de regressão entre a área foliar observada e dimensões lineares de folíolos de *Moringa oleifera*. Lagoa Seca, PB, 2019.

Modelos de ajuste	Coeficientes e estatísticas dos modelos				
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	F <sub>Calculado</sub>	R <sup>2</sup> <sub>Ajustado</sub>
AFE = $\beta_0 + \beta_1 * C$	-1,104 $\pm$ 0,064	1,598 $\pm$ 0,039**	-	1712,93	0,896
AFE = $\beta_0 + \beta_1 * L$	-1,227 $\pm$ 0,055	2,340 $\pm$ 0,047**	-	2531,21	0,927
AFE = $\beta_0 + \beta_1 * CL$	0,035 $\pm$ 0,015	0,720 $\pm$ 0,007**	-	12136,55	0,984
AFE = $\beta_0 + \beta_1 * C + \beta_2 * L$	-1,331 $\pm$ 0,037	0,737 $\pm$ 0,045**	1,402 $\pm$ 0,065**	3094,80	0,969

AFE: área foliar estimada,  $\beta_0$ : coeficiente linear da regressão,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ : coeficientes angulares da regressão, C: comprimento de folíolo, L: largura de folíolo, F: valor calculado do teste de Fisher, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação ajustado.

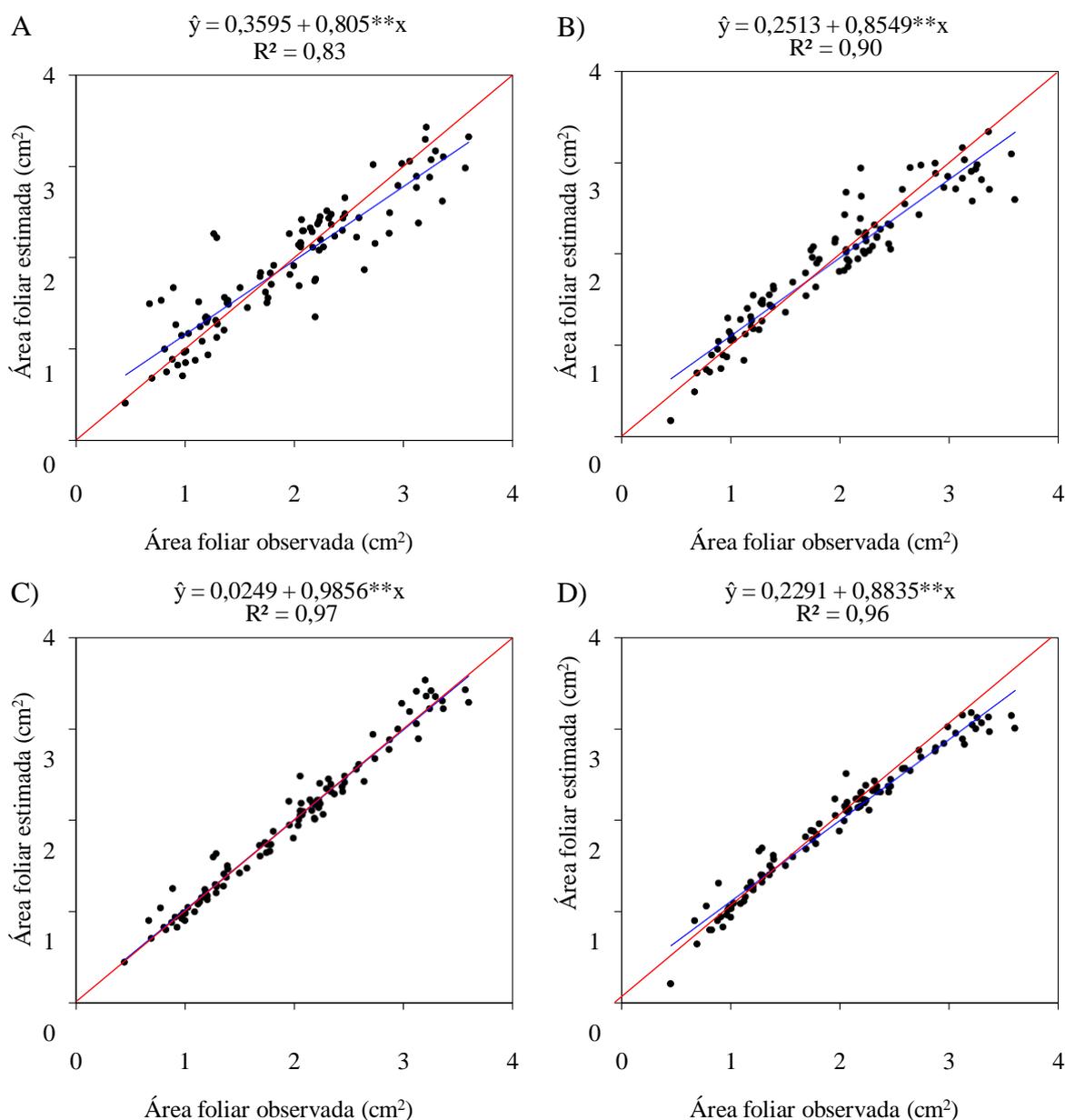
Estes resultados indicam que o produto entre o comprimento e a largura dos folíolos possui maior capacidade preditiva e menor dispersão, notadamente, devido ao maior coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,98$ ) e menor desvio padrão estimado. Esta informação é ratificada por diversos autores (KERAMATLOU et al., 2015; TONDJO et al., 2015; CAI et al., 2017; LIU et al., 2017) estudando ajuste de modelos de regressão para estimativa de área foliar de espécies vegetais a partir de medidas de comprimento e largura de folhas. Wang et al. (2019) reportam que o produto CL é a melhor variável para predição de área foliar, no entanto, os autores destacam que a idade e o histórico de vida da planta podem influenciar a qualidade dos modelos, evidenciando a necessidade de estudos complementares para envolvendo estes fatores.

Com base na análise residual, foi avaliada a viabilidade dos modelos de regressão ajustados para estimativa de área foliar a partir de medidas de comprimento e largura dos folíolos. Verificou-se que os resíduos estão normalmente bem distribuídos ao redor da média e situados dentro dos limites superior e inferior ( $\text{média} \pm 3\text{DP}$ ) dos resíduos, conforme pode ser observado na dispersão residual ilustrada na Figura 1.



**Figura 1.** Dispersão residual em função da área foliar estimada pelos modelos univariados a partir do comprimento (A) da largura (B), do produto entre comprimento e largura (C) e pelo modelo bivariado a partir do comprimento e da largura (D). Lagoa Seca, PB, 2019

A partir dos resultados da análise de regressão, verificou-se que a área foliar observada teve correlação significativa ( $P < 0,01$ ) com a área foliar estimada pelos modelos ajustados, sendo registrada elevada capacidade preditiva, com valores de  $R^2$  variando entre 0,83 e 0,97, sendo este último valor obtido a partir da estimativa que considera o produto do comprimento e largura de folíolos (Figura 2).



**Figura 2.** Relação entre área foliar observada e estimada pelos modelos univariados em função do comprimento (A) da largura (B), do produto entre comprimento e largura (C) e pelo modelo bivariado em função do comprimento e da largura (D). A linha diagonal de cor vermelha representa a reta 1:1. Lagoa Seca, PB, 2019.

Os resultados significativos associados aos elevados valores de coeficiente de determinação indicam que os modelos ajustados podem ser utilizados para estimativa de área foliar de *M. oleifera*, sendo o modelo que relaciona o produto do comprimento pela largura dos folíolos o mais indicado para esta finalidade. Estas informações estão em conformidade com os resultados obtidos por Morgado et al. (2013) estudando espécies de maracujá (*Passiflora*), Wang et al. (2019) estudando espécies de folhas larga, Oliveira et al. (2019) estudando caruru (*Talinum triangulare*) e beldroega grande (*Talinum paniculatum*) e Hara et al. (2019) estudando o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*).

Avaliando-se a precisão do modelo por meio do coeficiente de correlação  $r$ , pode-se observar que os modelos  $AFE = \beta_0 + \beta_1 * CL$  e  $AFE = \beta_0 + \beta_1 * C + \beta_2 * L$  apresentaram os melhores desempenhos, com valores superiores a 0,98. Estes modelos também apresentaram maior exatidão, com valores de índice de concordância superior a 0,99 e de índice de confiança de 0,98 e 0,97, respectivamente. Quanto à performance geral, estes modelos supracitados apresentaram elevado desempenho, uma vez que tiveram baixos valores de raiz quadrada do erro médio, com RMSE de 0,13 e 0,16 para os respectivos modelos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Índices de desempenho de modelos de regressão univariados e bivariado para estimativa de área foliar de *Moringa oleifera* por método não destrutivo a partir de dimensões lineares de folíolos. Lagoa Seca, PB, 2019.

Modelos de ajuste	Índices de desempenho			RMSE
	r	d	c	
$AFE = \beta_0 + \beta_1 * C$	0,912	0,950	0,866	0,324
$AFE = \beta_0 + \beta_1 * L$	0,946	0,969	0,917	0,258
$AFE = \beta_0 + \beta_1 * CL$	0,985	0,993	0,978	0,134
$AFE = \beta_0 + \beta_1 * C + \beta_2 * L$	0,982			

---

AFE: área foliar estimada,  $\beta_0$ : coeficiente linear da regressão,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ : coeficientes angulares da regressão, C: comprimento de folíolo, L: largura de folíolo, r: coeficiente de correlação de Pearson, d: índice de concordância, c: índice de confiança e RMSE: raiz quadrada do erro médio.

As medidas de desempenho estatístico dos ajustes evidenciam que os modelos que consideram o produto do comprimento pela largura do fólio são mais adequados para estimativa de área foliar de *M. oleifera*. Em estudo para ajuste de modelos para estimativa de área foliar de feijoeiro a partir de medidas lineares, Hara et al. (2019) encontraram valores de “r” e “d” de 0,99 e valor de “c” de 0,98 para os modelos ajustados pelo produto do comprimento pela largura das folhas, de modo que os autores recomendam estes modelos para estimativa de área foliar da cultura devido a sua qualidade e maior simplicidade no quesito operacional.

Wang et al. (2019) ajustando modelos de regressão para estimativa de área foliar em espécies de folha larga, encontraram valores de RMSE variando entre 4,04 e 4,63 para o modelo ajustado para o produto do comprimento pela largura das folhas, sendo estes valores superiores aos encontrados nesta pesquisa, os autores destacam que o histórico de vida e a idade das plantas possuem elevada influência no desempenho dos modelos, o que justifica o elevado desempenho obtido com os folíolos de *M. oleifera*, haja vista que os folíolos foram coletados de mudas de mesma idade e na mesma época ano.

#### 4. CONCLUSÕES

Modelos alométricos podem ser usados com elevada performance para estimativa de área foliar de *Moringa oleifera* Lamark por método não destrutivo a partir de medidas lineares de comprimento e largura dos folíolos.

A área foliar de mudas de *M. oleifera* com seis meses de idade pode ser estimada pelo modelo  $AFE = 0,035 + 0,720 \cdot CL$ , sendo AFE a área foliar estimada e CL o produto do comprimento pela largura dos folíolos.

Pesquisas futuras são sugeridas para ajustes de modelos multivariados para estimativa de área foliar de *M. oleifera* a partir de tamanhos de folíolos variados, folhas completas, massa fresca e seca das folhas, histórico de vida e idade das plantas.

#### 5. REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; HASTENREITER, F.A.; FLUMIGNAN, D.L.; FARIA, R.T. **Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares.** *Bragantia*, v.67, p.1053-1058, 2008.

AFZAL, I.; AKRAM, M.W.; REHMAN, H.U.; RASHID, S.; BASRA, S.M.A. **Moringa leaf and sorghum water extracts and salicylic acid to alleviate impacts of heat stress in wheat.** *South African Journal of Botany*. Available online 10 May 2019

ALMEIDA, MARCÍLIO DE. **Morfologia da folha de plantas com sementes** [recurso eletrônico] / Marcílio de Almeida e Cristina Vieira de Almeida. - - Piracicaba: ESALQ/USP, 2018. 111 p. : il. (Coleção Botânica, 3)

ARAÚJO, E.C.E.; SANTOS, E.P.; PRADO, C.H.B.A. **Estimativa da área foliar da mangueira** (*Mangifera indica* L.) cvs. Tommy Atkins e Haden, utilizando dimensões lineares. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.27, n.2, p.308-309, 2005

ARAÚJO, LAÍS LIMA NABUCO; MELO, HYRANDIR CABRAL DE; CASTIGLIONI, GABRIEL LUIS; GONÇALVES, LETÍCIA ALMEIDA. **Intensidade de radiação influenciando características morfofisiológicas em folhas de *Tetradenia riparia*** (Hochst.) Codd. *Iheringia, Série Botânica*, 74: e2019001. 2019

BAKHSHANDEH, E.; KAMKAR, B.; TSIALTAS, J.T. **Application of linear models for estimation of leaf area in soybean** [*Glycine max* (L.) Merr]. *Photosynthetica*, v.49, p. 405-416, 2011

BOSCO, L.C. et al. **Seleção de modelos de regressão para estimar a área foliar de macieiras**, „Royal Gala“ e „Fuji Suprema“ sob tela antigranizo e em céu aberto. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.34, n.2, p.504-514, 2012.

Cai, H.Y., Di, X.Y., Jin, G.Z., 2017. **Allometric models for leaf area and leaf mass predictions across different growing periods of elm tree** (*Ulmus japonica*). *J. For. Res.* 28, 975–982

CHAGAS, MARIA DAS GRAÇAS SANTOS DAS; SILVA, MILENA DUTRA DA; GALVÍNCIO, JOSICLÊDA DOMICIANO; PIMENTEL, REJANE MAGALHÃES DE MENDONÇA. **Variações foliares em grupos**

**funcionais vegetais de uma paisagem de restinga, Pernambuco-Brasil.**  
RBGF - Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE Vol.1 n.02 Set/Dez  
2008, 50-63

DEMIRSOY, H. **LEAF area estimation in some species of fruit tree by using models as a non- destructive method.** *Fruits*, v.64, p.45-51, 2009.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: A GUIDE for its Bootstrap procedures in multiple comparisons.** *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, n.2, p.109-112, 2014.  
10.1590/S1413-70542014000200001.

GOPALAKRISHNAN, L., DORIYA, K., KUMAR, D. S. ***Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application.** *Food Science and Human Wellness*, v. 5, n. 2, p. 49-56. 2016.

HARA, ANDERSON TAKASHI; GONÇALVES, ANTÔNIO CARLOS ANDRADE; MALLER, ANDRÉ; HASHIGUTI, HERALDO TAKAO; OLIVEIRA, JHONATAN MONTEIRO DE. **Ajuste de modelo de predição de área foliar do feijoeiro em função de medidas lineares.** *Revista Engenharia na Agricultura*. V.27, n.2, p.179-186, 2019

Hasan, Md. Mahadi; Alharby, Hesham F.; Hajar, Abdulrahman S.; Hakeem, Khalid Rehman; Alzahrani, Yahya. The effect of magnetized water on the growth and physiological conditions of moringa species under drought stress. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 28, No. 3 (2019), 1-11

HELVIÖB. **MORINGA OLEIFERA, EL MANÁ Verde del Trópico, cultivo, comercialización. 2007.**

HOLGUÍN, VILMA A.; GRISALES, SANIN ORTIZ; DÍAZ, GISOU; MORA-DELGADO, JAIRO; **Estimation Of leaf area of *Tithonia diversifolia* using allometric equations.** *Tropical and subtropical agroecosystems* 22 (2019): 231-238

HUANG, WEIWEI; RATKOWSKY ,DAVID A.; HUI, CANG; WANG, PING; SU, JIALU; SHI, PEIJIAN. **Leaf Fresh Weight Versus Dry Weight: which is better for describing the scaling relationship between leaf biomass and leaf area for broad-leaved plants?.** *Forests* 2019, 10, 256;  
doi:10.3390/f10030256

KERAMATLOU, I., SHARIFANI, M., SABOURI, H., ALIZADEH, M.,

KAMKAR, B., 2015. **A simple linear model for leaf area estimation in Persian walnut (*Juglans regia* L.).** *Sci. Hortic.* 184, 36–39

LIMA, R.T.; SOUZA, P.J.O.P.; RODRIGUES, J.C.; LIMA, M.J.A. **Modelos para a estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares.** *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v.34, n.4, p.974-980, 2012.

LISITA, F. O.; JULIANO, R. S.; MOREIRA, J. S.; **Cultivo e Processamento da Moringa na alimentação de Bovinos e Aves.** ISSN 1981-724X, Circular Técnica 119, Setembro de 2018.

LIU, Z.L., ZHU, Y., LI, F.R., JIN, G.Z., 2017. **Non-destructively predicting leaf area, leaf mass and specific leaf area based on a linear mixed-effect model for broadleaf species.** *Ecol. Indic.* 78, 340–350

MALAGI, G.; CITADIN, I.; SCARIOT, S.; REIS, L. **Método não destrutivo para determinação da área foliar da videira, cultivar BRS-Violeta.** *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v. 32, n. 4, p. 1250-1254, 2011

MARQUARDT, D.W., 1970. **Generalized inverse, ridge regression and biased linear estimation.** *Technometrics* 12, 591–612.

MENDONÇA, P. G. BARBOSA, J. C.; DEMATTÊ, M. E. S. P. **Modelos de regressão para estimativa da área foliar de espécies brasileiras do gênero *Tillandsia* L. (Bromeliaceae).** *Rev. Bras. Hortic. Orn.*, Campinas, v.11, n.1, p.43-48, 2005

MORGADO, M. A. D.; BRUCKNER, C. H.; ROSADO, L. D. S.; ASSUNÇÃO, W.; SANTOS, C. E. M. **Estimação da área foliar por método não destrutivo, utilizando medidas lineares das folhas de espécies de *Passiflora*.** *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 60, n.5, p. 662-667, set/out, 2013

NKAKWANA, T.T.; MUCHENJE, V.; PIETERSE, E. et al. **Effect on *Moringa oleifera* leaf meal on growth performace, apparent digestibility, digestive organ size and carcass yield in broiler chickens.** *Livest. Sci.*, v.161, p.139-146, 2014.

OLIVEIRA, RICARDO FERREIRA; JAKELAITIS, ADRIANO; ALEXANDRE, ELLEN CARLA FRANCISCA; PEREIRA, LEANDRO SPÍNDOLA; SILVA, MÁRCIA NARA DA; OLIVEIRA, DANIEL

EMANUEL CABRAL DE; SOUSA, GUSTAVO DORNELES DE;  
OLIVEIRA, GUSTAVO SILVA DE. **Utilização de modelos alométricos para estimar a área foliar de *Talinum triangulare* e *Talinum paniculatum*.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.9, n.1, p.112-119, 2019

PTUSHENKO, V.V., PTUSHENKO, O.S., SAMOILOVA, O.P. & SOLOVCHENKO, A. E. 2016.**An exceptional irradiance-induced decrease of light trapping in two *Tradescantia* species: an unexpected relationship with the leaf architecture and zeaxanthin-mediated photoprotection.** *Biologia Plantarum* 60:385-393.

ROLIM, J. C.; NOGUEIRA, R.S.; LIMA, P. R. S.; PORDEUS, M. A. A; CASTRO, A. A.; PITTA, G. B.; DINIZ, M. F. F. M.; PEREIRA, A. H.; **Hiperplasia miointimal na artéria ilíaca em coelhos submetidos à angioplastia e tratados com *Moringa oleífera*.** Rev. Col. Bras. Cir. 2016; 43(1): 028-034

ROSSATO, D. R., TAKAHASHI, F. S. C., SILVA, L. C. R. & FRANCO, A. C. 2010. **Características funcionais de folhas de sol e sombra de espécies arbóreas de uma mata de galeria no Distrito Federal, Brasil.** *Acta Botanica Brasilica* 24:640-647.

SANTOS, M.S., FEIJÓ, N.S.A., SECCO, T. M., MIELKE, M. S., GOMES, F. P., COSTA, L. C. B. & SILVA, D. C. 2014. **Efeitos do sombreamento na anatomia foliar de *Gallesia integrifolia* (Spreng) Harms e *Schinus terebinthifolius* Raddi.** *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 16:89-96.

SHI, P.; LIU, M.; RATKOWSKY, D.A.; GIELIS, A.; SU, J.; YU, X.; WANG, P.; ZHANG, L.; LIN, Z.; SCHRADER, J. **Leaf area-length allometry and its implications in leaf-shape evolution.** *Trees Struct. Funct.* 2019.

SHI, PEIJIAN; LIU, MENGDI; YU, XIAOJING; GIELIS, JOHAN; RATKOWSKY, DAVID A.. **Proportional relationship between leaf area and the product of leaf length and width of four types of special leaf shapes.** *Forests* 2019, 10, 178; doi:10.3390/f10020178

SILVA, A. E. ; FERRAZ, R. L. DE S. ; SILVA, J. P. DA ; COSTA, P. DA S. ; VIEGAS, P. R. A. ; BRITO NETO, J. F. DE ; MELO, A. S. DE ; MEIRA, K. S. ; SOARES, C. S. ; MAGALHÃES, I.D. ; MEDEIROS, A. DE S. . **Microclimate changes, photomorphogenesis, and water consumption by *Moringa oleífera* cuttings under light spectrum variations and exogenous phytohormones concentrations.** *Australian Journal Of Crop Science (Online) JCR* , 2019.

SILVA, T. C. S.; NUNES, T. P.; COSTA, D. G.; LIMA, L. A. L. C.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA JUNIOR, A.M. **Utilização de sementes de *Moringa oleifera* como alternativa para produção de biodiesel.** *Revista Genitec: Gestão, Inovação e Tecnologias*, v. 3, n. 2, p. 12-25, 2013.

SOARES, C. S.; SILVA, J. A.; SILVA, G. N. **Produção de coentro em diferentes espaçamentos dos canais hidropônicos.** *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v.22, p.1-5, 2017.

SOUTO, PATRÍCIA CARNEIRO; MAIOR JÚNIOR, SIGISMUNDO G. SOUTO. **Origem, Botânica E Morfologia Da Moringa.** Capítulo 1: Potencialidades da *Moringa Oleifera* Lam.. *in* Potencialidades da *Moringa oleifera* Lam / organizadores: Gabriel Francisco da Silva ... [et al.]. – São Cristóvão : Universidade Federal de Sergipe, 2018.

SOUZA, L. F.; ARAÚJO, M. S.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; MEDEIROS, A. S.; MAGALHÃES, I. D. **Sementes crioulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo agroecológico Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds for agroecological cultivation.** *Revista Verde* 14:1 (2019) 33-40

TOEBE, M. et al. **Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) de acordo com as dimensões foliares.** *Semina Ciências Agrárias*, v.33, p.2491-2500, 2012

TOEBE, M.; SOUZA, R. R.; MELLO, A. C.; MELO, P.J.; SEGATTO, A.; CASTANHA, A. C. **Leaf area estimation of squash „Brasileirinha“ by leaf dimensions.** *Cienc. Rural* vol.49 no.4 Santa Maria 2019. Epub Apr 11, 2019

TONDJO, K., BRANCHERIAU, L., SABATIER, S.A., KOKUTSE, A., AKOSSOU, A., KOKOU, K., FOURCAUD, T., 2015. **Non-destructive measurement of leaf area and dry biomass in *Tectona grandis*.** *Trees Struct. Funct.* 29, 1625–1631.

TRAUTENMÜLLER, J. W.; BORELLA, J.; MINATTI, M.; JÚNIOR, S. C.; WOYCIKIEVICZ, A. P. F.; BALBINOT, R.; ENGEL, K. **Crescimento de área foliar e índice de área foliar de mudas de *cordia americana* em diferentes formas de manejo.** *BIOFIX Scientific Journal* v. 2 n. 2 p. 60-64 2017

WANG, YANJUN; JIN, GUANGZE; SHI, BAOKU; LIU, ZHILI. **Empirical models for measuring the leaf area and leaf mass across growing periods in broadleaf species with two life histories.** *Ecological Indicators*. Volume

102, July 2019, Pages 289-301

WINSTON, WAYNE. **Microsoft Excel data analysis and business modeling**. Microsoft press, 2016.