

ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR A PARTIR DO AJUSTE DE MODELOS NÃO DESTRUTIVOS PARA TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS TÍPICAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Rogério Antonio Krupek¹
Ricardo Gonçalves²

RESUMO - O uso de modelos como alternativa para a obtenção da área foliar estimada já foi testado para várias espécies, sendo uma técnica estabelecida e considerada confiável apresentando resultados normalmente muito próximos da área foliar real medida. Neste estudo averiguamos o uso de medidas lineares simples (comprimento e largura) para a obtenção de equações ajustadas utilizáveis na estimativa da área foliar de três espécies típicas da Floresta Ombrófila Mista (*Lithraea brasiliensis*, *Myrsine umbellata* e *Sebastiania commersoniana*). Um total de 100 folhas de cada espécie foram utilizadas para a avaliação. Foram tomadas medidas de comprimento e largura para cada uma. A área real medida foi obtida com auxílio do programa Image J. As equações ajustadas foram obtidas entre as relações de área medida e as medidas lineares (comprimento, largura e comprimento x largura). Em adição foram aplicados testes de desempenho para aquelas equações que apresentaram melhores resultados (acima de 90% de explicabilidade). Os resultados mostraram que a equação obtida a partir da relação entre comprimento e largura mostrou as melhores métricas, sendo aqui indicada para a utilização para as três espécies amostradas.

Palavras-chave: equação ajustada, folha, floresta ombrófila mista.

ESTIMATED LEAF AREA A THROUGH THE ADJUSTMENT OF NON-DESTRUCTIVE MODELS FOR THREE TREE SPECIES TYPICAL OF THE MIXED OMBROPHYLOUS FOREST

ABSTRACT - The use of models as an alternative to obtain the estimated leaf area has already been tested for several species, being an established technique and considered reliable, presenting results normally very close to the real leaf area measured. In this study, we investigated the use of simple linear measures (length and width) to obtain adjusted equations that can be used to estimate the leaf area of three typical species of the Mixed Ombrophylous Forest (*Lithraea brasiliensis*, *Myrsine umbellata* and *Sebastiania commersoniana*). A total of 100 leaves of each species were used for the evaluation. Length and width measurements were taken for each. The measured area was obtained using the Image J program. The adjusted equations were obtained between the measured area ratios and linear measurements (length, width and length x width). In addition, performance tests were applied to those equations that presented better results (above 90% of explainability). The results showed that the equation obtained from the relationship between length and width showed the best metrics, being here indicated for use for the three species sampled.

Keywords: adjusted equation, leaf, mixed ombrophilous forest.

1 Professor Associado da Universidade Estadual do Paraná, campus de União da Vitória. Colegiado de Ciências Biológicas. Praça Coronel Amazonas, s/n. CEP 84600-185. E-mail: rogerio.krupek@unespar.edu.br. Autor para correspondência.

2 Licenciado em Ciências Biológicas. Universidade Estadual do Paraná, campus de União da Vitória. E-mail: ricardogoncalves2112@gmail.com

INTRODUÇÃO

A folha, como principal (certas vezes único) responsável por abrigar o aparato fotossintético em suas células especializadas, é um órgão vegetal extremamente importante, envolvida direta e indiretamente no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas. Neste sentido, a área foliar consiste em um índice importante, sendo utilizado em estudos relacionados ao crescimento vegetal (p.ex.: análise de matéria seca, metabolismo, capacidade fotossintética, rendimento e qualidade foliar e da planta).

Os métodos mais tradicionais utilizados para a obtenção da área foliar envolvem desde técnicas simples, porém destrutivas (p.ex. método de pesagem de discos foliares) e por isso pouco adequadas à uma avaliação continuada do crescimento e desenvolvimento foliar, até aquelas não destrutivas, porém dependentes de equipamentos específicos (p.ex. medidor automático de área foliar), sendo pouco acessíveis, além de tornar o processo relativamente caro.

Neste sentido, a utilização de medidas lineares simples vem se destacando na avaliação estimativa da área foliar, sendo utilizadas por diferentes autores (AQUINO et al., 2011; HARA et al., 2019; MARACAJA et al., 2008; SANTOS et al., 2022; SCHWAB et al., 2014). Tal procedimento aparentemente simples é capaz de resultar em resultados muitas vezes satisfatórios para diversas espécies, principalmente aquelas que possuem folhas simples e limbo inteiro, o que facilita o processo de obtenção da área foliar.

Embora o uso de técnicas de estimativa da área foliar tenha sido utilizado para muitas espécies de importância comercial (p.ex. feijão – Hara et al., 2019; gladiolo – Schwab et al., 2014; girassol – Aquino et al., 2011), o desenvolvimento de modelos para a estimativa da área foliar de espécies nativas e/ou típicas da nossa flora pode ser uma importante ferramenta na avaliação das condições ambientais em que estas espécies se encontram ou estão submetidas.

Com base nisto, propomos aqui o desenvolvimento e teste de modelos ajustados para determinação estimada da área foliar, a partir de medidas lineares morfométricas simples para três espécies (*Lithraea brasiliensis* Marchand - Anacardiaceae; *Myrsine umbellata* Mart. - Primulaceae; *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. & Downs - Euphorbiaceae) típicas da Floresta Ombrófila Mista.

METODOLOGIA

Neste estudo, foram utilizadas folhas pertencentes a três diferentes espécies ocorrentes no município de Canoinhas, localizada no planalto norte de Santa Catarina. As espécies selecionadas foram *Lithraea brasiliensis* Marchand, *Myrsine umbellata* Mart. e *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. & Downs, as quais ocorrem naturalmente em ambientes de Floresta Ombrófila Mista, fitofisionomia típica da região, tanto em ambientes preservados quanto alterados (Figura 1).

Para cada uma das espécies foi selecionado um total de cinco indivíduos dentro da área avaliada, dos quais foram retiradas as folhas para as análises. Utilizaram-se as folhas que se apresentavam íntegras, sem deformações oriundas de fatores distintos como, por exemplo, deficiência nutricional, pragas ou doenças. No total, foram selecionadas 100 folhas de cada espécie, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório onde foram obtidas imagens fotográficas de cada uma das folhas. Posteriormente, as imagens foram inseridas no programa Image J, onde passaram por um tratamento digital. As folhas foram transformadas em escala de preto e branco e calculada a área da cor preta da imagem. Este

processo foi realizado para as 300 imagens em questão, obtendo-se assim a área foliar medida ou real.

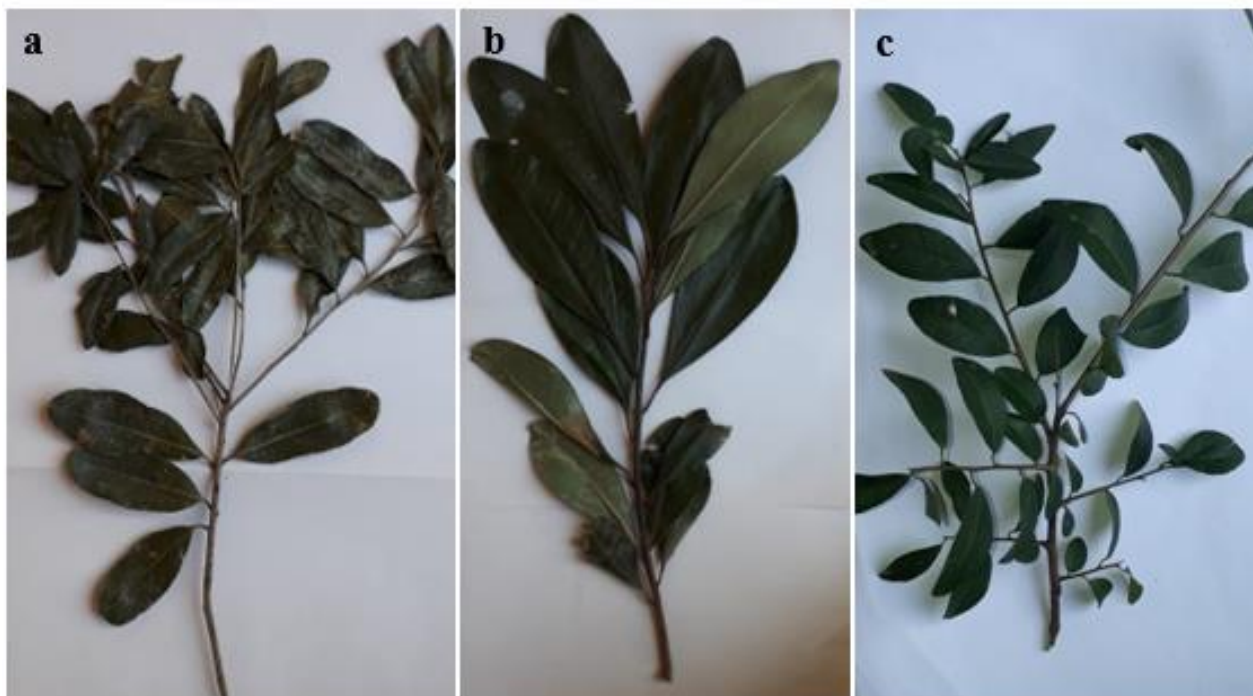


Figura 1. Detalhe dos ramos de *Lithraea brasiliensis* (a) *Myrsine umbellata* (b) e *Sebastiania commersoniana* (c) coletadas no município de Canoinhas - SC e utilizadas neste estudo.

A obtenção das medidas lineares (comprimento e largura do limbo) também foi realizada utilizando-se o programa Image J, a partir de uma medida padrão de 5cm obtida juntamente com a imagem digital da folha amostrada. O comprimento foi definido como a distância entre o ponto de inserção do pecíolo no limbo foliar e o ápice da folha e a largura como a maior dimensão perpendicular ao eixo do comprimento.

A relação entre área da folha e suas dimensões lineares foi testada utilizando-se o modelo de regressão linear ($Y = a + bX$). O valor Y estima a área do limbo foliar em função de X, cujos valores considerados foram o comprimento (C), a largura (L) e o produto C x L. Os valores de a e b representados pelo coeficiente linear e angular da reta obtida. Os coeficientes de determinação (R^2) foram obtidos com as variáveis X e Y, sendo que o valor da área foliar foi considerado a variável dependente (Y) e as medidas lineares (comprimento, largura e a razão CxL) como variáveis independentes (X).

Os modelos que apresentaram melhor ajuste (> 90% de explicabilidade) para cada uma das espécies, foram então submetidos aos seguintes testes para avaliação do seu desempenho:

1. raiz quadrada média do erro (RQME):

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Si - Oi)^2}{N}}$$

Onde: Si = valor estimado; Oi = valor observado; N = número de observações.

O RQME expressa a magnitude do erro produzido pelo modelo, de modo que quanto mais próximas de zero melhor é o modelo. Optou-se pelo uso do RQME em relação ao EMA (Erro médio absoluto) por este ser menos sensível para valores extremos, uma vez que não eleva ao quadrado a diferença entre os valores estimados e os observados.

2. índice BIAS:

$$\text{BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i - \sum_{i=1}^N O_i}{\sum_{i=1}^N O_i}$$

Onde: S_i = valor estimado; O_i = valor observado; N = número de observações.

O índice BIAS expressa o desvio médio dos valores estimados em relação aos valores observados. Quanto mais próximo de zero menor a magnitude do erro sistemático do modelo.

3. Coeficiente de correlação (r):

$$r = \frac{a \sum S_i + b \sum S_i \cdot O_i - N (\bar{S}_i)^2}{\sum S_i^2 - N (\bar{S}_i)^2} \quad \text{sendo:} \quad a = \bar{S}_i - b \cdot \bar{O}_i \quad s_{O_i S_i} = \sum O_i \cdot S_i - \frac{\sum O_i \cdot S_i}{N}$$

$$b = \frac{s_{O_i S_i}}{s_{O_i O_i}} \quad s_{O_i O_i} = \sum O_i^2 - \frac{(\sum O_i)^2}{N}$$

Onde: S_i = valor estimado; O_i = valor observado; N = número de observações.

O coeficiente de correlação (r) indica o grau de dispersão dos dados simulados em relação aos dados observados. Quanto mais próximo de 1, mais correlacionados serão.

4. Índice de concordância (d):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|S_i'| + |O_i'|)^2} \right]$$

Onde: S_i = valor estimado; O_i = valor observado; $S_i' = S_i - \bar{O}$; $O_i' = O_i - \bar{O}$; \bar{O} = média dos valores observados; N = número de observações;

O índice de concordância (cujos valores variam de 0 a 1) é uma medida de quanto o modelo está livre de erro, quanto mais próximo de 1, menor erro a estimativa possui.

5. Índice de confiança ou desempenho (c):

$$c = r \cdot d$$

Onde: r = coeficiente de correlação; d = índice de concordância.

O índice de confiança indica o desempenho dos métodos. Os valores do índice de confiança variam de 0 a 1, sendo que $c=0$ significa confiança nula e $c=1$ significa confiança perfeita.

6. Índice de concordância modificado ($d1$):

$$d1 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N |S_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N (|S_i'| + |O_i'|)} \right]$$

Onde: S_i = valor estimado; O_i = valor observado; $S_i' = S_i - \bar{O}$; $O_i' = O_i - \bar{O}$; \bar{O} = média dos valores observados;

O índice dl é uma modificação do índice d , o qual possui a utilização da função quadrática, o que pode resultar em valores elevados desse índice. Esta modificação tende a resultar em um índice mais rigoroso. Os valores variam de 0 para nenhuma concordância à 1, para a concordância perfeita. Todos os testes matemáticos e estatísticos foram realizados com auxílio dos programas Excel e Past.

RESULTADOS

Lithraea brasiliensis

A figura 2 mostra a relação (equação ajustada, valor de R^2 e valor de p) entre as medidas lineares e a área foliar medida.

Todas as equações obtidas mostraram alta explicabilidade, o que demonstra uma boa capacidade de utilização para fins de estimativa da área foliar. O uso apenas das variáveis comprimento (87% de explicabilidade) ou largura (88%) podem ser consideradas suficientes para uma avaliação rápida da área foliar. Entretanto, o uso das duas variáveis em conjunto (relação comprimento x largura) como visto, pode gerar uma estimativa altamente confiável da área foliar (98%) para esta espécie.

Considerando que somente a equação obtida pela relação “comprimento x largura” obteve valores acima de 90% de explicação, os testes de desempenho foram aplicados somente para esta variável (Tabela 1). Os valores de área medida e estimada obtidos foram muito similares, sendo que todas as métricas mostraram excelente desempenho, confirmando os resultados obtidos para esta equação ajustada.

Tabela 1. Valores obtidos para os testes de desempenho aplicados para o conjunto de dados da área foliar estimada pelas métricas da relação Comprimento X Largura em comparação com a área foliar medida.

Área medida	Área estimada	RQME	BIAS	r	d	c	dl
18,73 ±8,97	18,75 ±8,92	0,031	0,0009	0,992	0,999	0,992	0,999

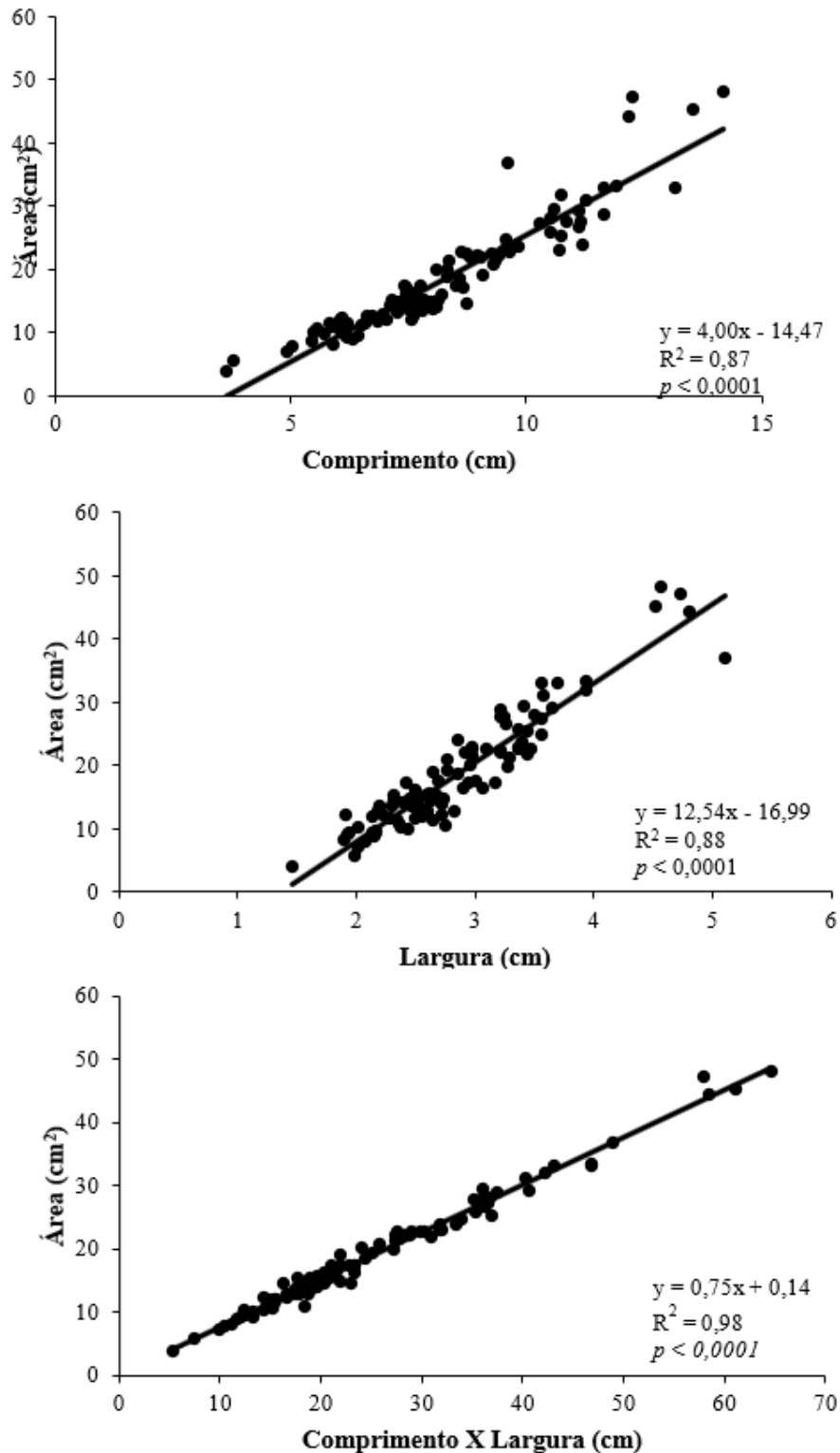


Figura 2. Área foliar real de *Lithraea brasiliensis* em função das medidas lineares comprimento (a), largura (b) e relação comprimento x largura (c). Para cada medida linear são apresentadas a equação ajustada obtida, o valor de R^2 (% de influência) e o valor de p (significância estatística).

Myrsine umbellata

A figura 3 apresenta a relação (equação ajustada, valor de R^2 e valor de p) entre as medidas lineares e a área foliar medida.

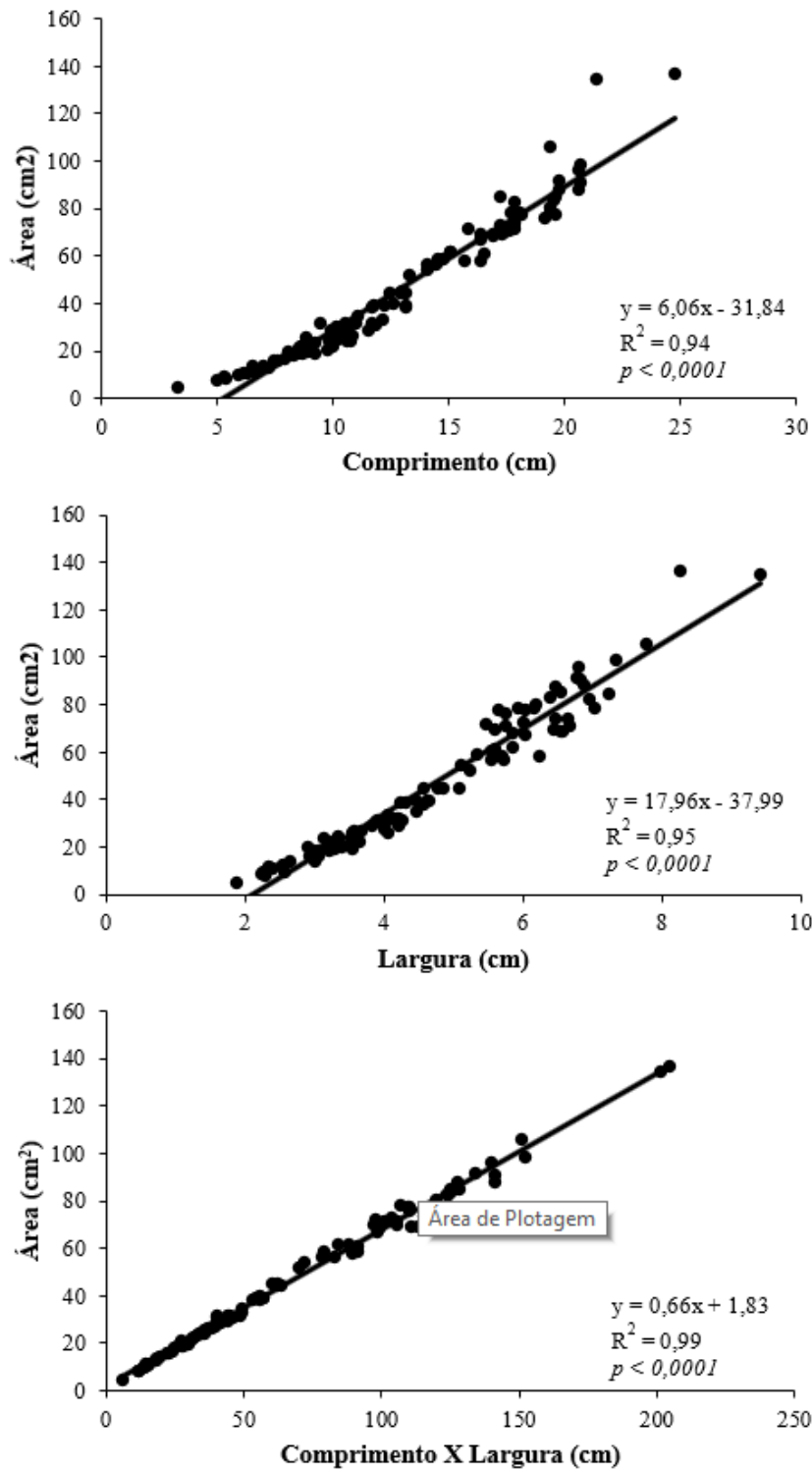


Figura 3. Área foliar real de *Myrsine umbellata* em função das medidas lineares comprimento (a), largura (b) e relação comprimento x largura (c). Para cada medida linear são apresentadas a equação ajustada obtida, o valor de R^2 (% de influência) e o valor de p (significância estatística).

Todas as equações mostraram altos valores de explicação (acima de 94%) o que permite apontar que o uso de qualquer uma das medidas lineares pode resultar em boas estimativas da área foliar, embora a relação “comprimento x largura” tenha sido a que mostrou melhor relação.

Considerando os resultados, os testes de desempenho foram aplicados aos três conjuntos de dados, apontados na tabela 2. Embora todos os resultados estejam muito próximos, os valores registrados para a métrica “largura” foi a que mostrou melhor desempenho, inclusive quando comparada a área medida e estimada.

Tabela 2. Valores obtidos para os testes de desempenho aplicados para o conjunto de dados da área foliar estimada pelas métricas das relações Comprimento, largura e Comprimento X Largura em comparação com a área foliar medida (média = 47,13±29,48cm²).

Área medida	Área estimada	RQME	BIAS	r	d	c	dl
Compr.	47,35±28,20	4,86	0,004	0,974	0,999	0,973	0,997
Larg.	47,18±28,59	0,24	0,001	0,975	0,999	0,974	0,974
Comp.xlarg.	47,25±29,46	1,48	0,002	0,996	0,999	0,995	0,998

Sebastiania commersoniana

A relação (equação ajustada, valor de R² e valor de p) entre as medidas lineares e a área foliar medida são apresentadas na figura 4.

Todas as medidas mostraram alta explicabilidade (acima de 85%), sendo que podem ser utilizadas como meio fácil e rápido para obtenção da área foliar estimada. A relação comprimento X largura, entretanto, se destacou (97% de explicabilidade) apresentando grande potencial para uso na estimativa da área foliar de *S. commersoniana*. Os resultados para os testes de desempenho aplicados são mostrados na tabela 3.

Tabela 3. Valores obtidos para os testes de desempenho aplicados para o conjunto de dados da área foliar estimada pelas métricas da relação Comprimento X Largura em comparação com a área foliar medida.

Área medida	Área estimada	RQME	BIAS	r	d	c	dl
10,83 ±5,26	10,81 ±5,19	0,058	-0,0022	0,989	0,999	0,988	0,975

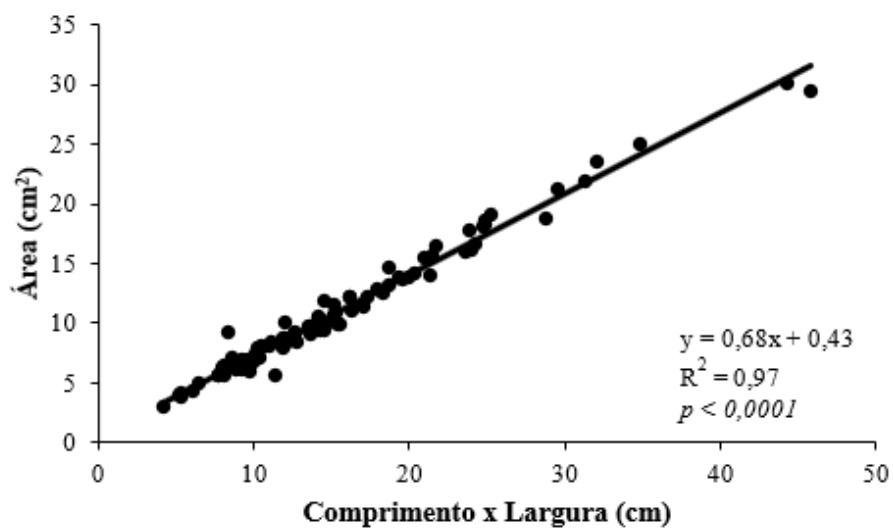
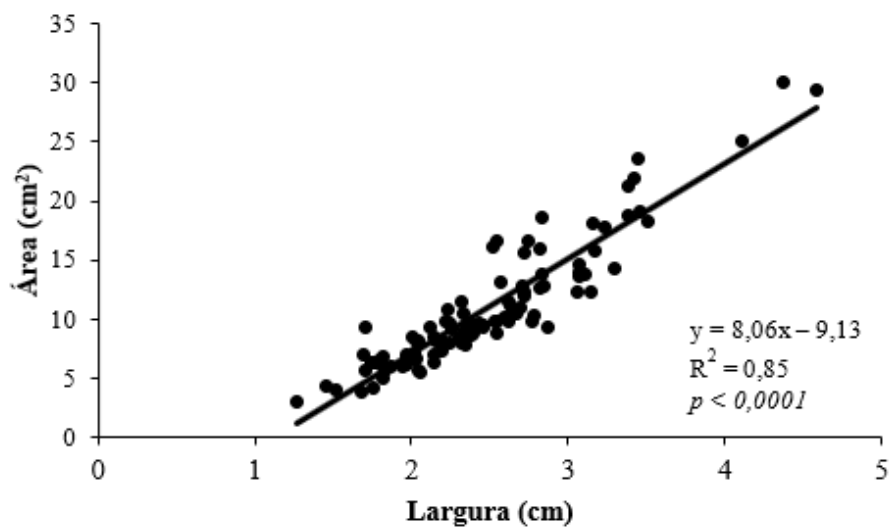
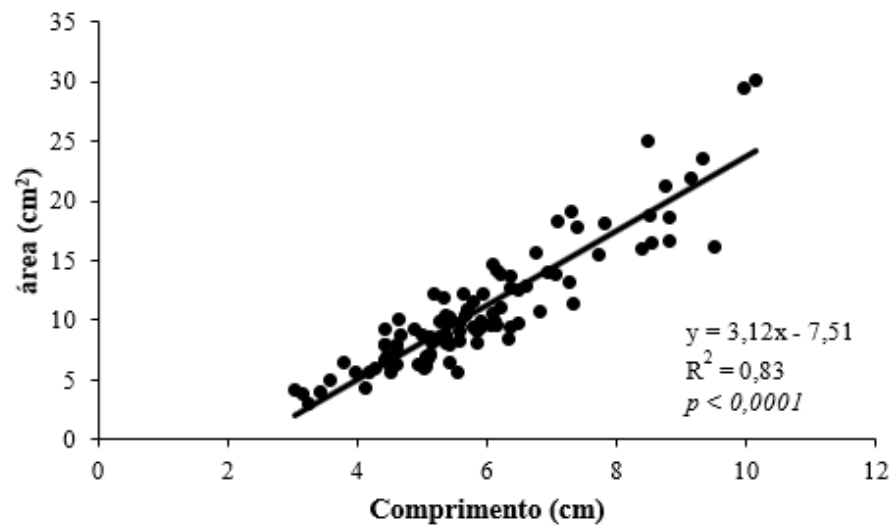


Figura 4. Área foliar real de *Sebastiania commersoniana* em função das medidas lineares comprimento (a), largura (b) e relação comprimento x largura (c). Para cada medida linear são apresentadas a equação ajustada obtida, o valor de R^2 (% de influência) e o valor de p (significância estatística).

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostraram que todas as espécies analisadas apresentam condição de utilização de medidas lineares simples (comprimento e largura) para a estimativa de sua área foliar com bastante precisão. A diferença entre a área medida e a área estimada foi muito baixa ($<0,22\text{cm}^2$) estando sempre muito abaixo do desvio padrão observado para o conjunto de dados. Outros estudos também conseguiram encontrar resultados estimativos próximos aos valores reais observados (p.ex. Lucena et al., 2011; Monteiro et al., 2005; Maracajá et al., 2008). Santos et al. (2022) salientam que o método de estimativa foliar a partir de medidas lineares é uma alternativa promissora e já amplamente empregada para várias espécies. Tal método torna-se importante em estudos que avaliam o crescimento foliar por ser uma técnica não destrutiva (Nascimento et al., 2002; Venturieri, 1990).

As espécies aqui avaliadas apresentam em comum folhas com limbo foliar linear elíptico a elíptico lanceolado. Estes formatos se aproximam da forma geométrica do tipo elipse, o que torna a relação entre as medidas lineares e a área da folha mais próximas, o que talvez possa explicar os resultados obtidos. Além disso, o padrão morfológico das folhas dentro das populações amostradas, para as três espécies, parece ser muito constante e pouco variável.

Em estudo realizado com aceroleira, Lucena et al. (2011) aponta que a relação entre as medidas lineares “comprimento x largura” são mais precisas e que apresentam maior exatidão frente as medidas de comprimento e largura quando utilizadas isoladamente. Os autores apontam ainda que outros autores também registraram o mesmo resultado (Monteiro et al., 2005 para algodoeiro; Silva et al., 2002 para gergelim; Lima et al., 2002 para o feijão caupi). Tais apontamentos corroboram com o observado neste estudo, onde a relação “comprimento x largura” apresentou, para as três espécies estudadas, os melhores resultados da equação ajustada para determinação estimativa da área foliar. Exceção pode ser feita à espécie *M. umbellata*, a qual apresentou a área estimada com base na equação ajustada utilizando a largura como mais próxima da área medida. Maracajá et al. (2008), estimando a área foliar do cajueiro também apontou a largura como medida mais adequada quando comparada ao comprimento. Os autores utilizaram, entretanto, equações ajustadas para o modelo potencial e não linear como utilizado neste estudo.

Os testes de desempenho confirmaram os dados comparativos obtidos entre área medida e estimada, mostrando que são altamente confiáveis quando utilizados para as espécies *L. brasiliensis*, *M. umbellata* e *S. commersoniana*, principalmente para a equação $A = a + b (C \times L)$. Os valores foram altamente significativos e muito próximos da relação perfeita para todos os índices, principalmente quando comparado com outras espécies, como por exemplo o gladiólo (Schwab et al., 2014) e girassol (Aquino et al., 2011).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados observados, concluímos que, a utilização de medidas lineares simples são confiáveis para a determinação da área foliar para estas espécies, sendo que qualquer uma delas pode ser utilizada com segurança (mais de 85% de confiança). Aqui recomendamos, entretanto, a utilização da relação “comprimento x largura” que apresentou os melhores resultados para a área estimada, inclusive comprovado pelos testes de desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, L.A.; SANTOS JÚNIOR, V.C.; GUERRA, J.V.S.; COSTA, M.M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, v.70, p.832-836, 2011.
- HARA, A.T.; GONÇALVES, A.C.A.; MALLER, A. HASHIGUTI, H.T.; OLIVEIRA, J.M. Ajuste de modelo de predição de área foliar do feijoeiro em função de medidas lineares. **Engenharia na Agricultura**. v.27, n.2, p.179-186, 2019.
- 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. **Revista Caatinga**. v.21, p.120-127, 2008.
- LUCENA, R.R.M.; BATISTA, T.M.V.; DOMBROSKI, J.L.D.; LOPES, W.A.R.; RODRIGUES, G.S.O. Medição da área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**. v. 24, n. 2, p. 40-45, 2011.
- MARACAJÁ, P.B.; MADALENA, J.A.; ARAÚJO, E.; LIMA, B.G.; LINHARES, P.C. Estimativa de área foliar de juazeiro por dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Verde de Agroecologia**. v.3, p.1-5, 2008.
- MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.C.; CHIAVEGATO, E.J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A.V.; PRELA, A. Estimativa da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, v.64, p.15-24, 2005.
- NASCIMENTO, I.B.; FARIAS, C.H.A.; SILVA, M.C.C.; MEDEIROS, J.F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; NEGREIROS, M.Z. Estimativa da área foliar do meloeiro. **Horticultura Brasileira**. v. 20, p. 555- 558, 2002.
- SANTOS, S.N.; DIGAN, R.C.; AGUILAR, M.A.G.; SOUZA, C.A.S.; PINTO, D.G. Análise comparativa de métodos de determinação de área foliar em genótipos de cacau. **Bioscience Journal**. v. 30, n. 1, p. 411-419, 2014.
- SILVA, L.C.; SANTOS, J.W.; VIEIRA, J.; BELTRÃO, N.E.M.; ALVES, I.; JERÔNIMO, J.F. Um método simples para se estimar área foliar de gergelim (*Sesamum indicum* L). **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. v. 6, n. 1, p. 491-496, 2002.
- SCHWAB, N.T.; STRECK, N.A.; REHBEIN, A.; RIBEIRO, B.S.M.R.; ULHMANN, O.; LANGNER, J.A.; BECKER, C.C. Dimensões lineares da folha e seu uso na determinação do perfil vertical foliar de gladiólo. **Bragantia**. v. 73, n. 2, p.97-105, 2014.
- VENTURIERI, G. A. **Variabilidade em plantas jovens de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) estimada por descritores morfológicos, fisiológicos e isoenzimáticos e sua utilização em caracterização de germoplasma**. 1990. Dissertação de mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Fundação Ubaldino do Amaral, Manaus, 1990.