

Determinação da área foliar de *Bauhinia forficata* por modelos matemáticos

Érica Alves Marque Marafeli^{1*}, Júlia Assunção de Castro Oliveira¹, Manuel Losada Gavilanes²

¹Discente de Pós-graduação em Plantas Mediciniais, Aromáticas e Condimentares da Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. ²Horto de Plantas Mediciniais da Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. *julia.assuncaoliveira@hotmail.com

Recebido em: 25/01/2024

Aceito em: 18/10/2024

Publicado em: 30/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.6.2-14>

RESUMO

A "pata-de-vaca" (*Bauhinia forficata* Link), da família Fabaceae, é uma planta medicinal cujo farmacógeno são as folhas. Essas são vendidas em feiras livres e apresentam o marcador químico kaempferitrina, responsável pela atividade hipoglicemiante. A área foliar, crucial na fotossíntese, é determinante nos processos relacionados ao metabolismo, biomassa, fenologia e rendimento dos cultivos. Neste contexto, objetivou-se desenvolver um modelo matemático para estimar a área foliar de *B. forficata*. Coletou-se 200 folhas de espécimes do Horto de Plantas Mediciniais da UFLA e posteriormente separou-se os folíolos e esses foram escaneados um escâner EPSON PERFECTION V700 PHOTO e a área foliar observada (AFO) foi determinada a pelo software WinFOLIATM. Os modelos lineares, gráficos e histograma foram criados no STATISTICA. A relação entre área foliar observada (AFO) e o produto comprimento/largura (área foliar estimada - AFE) mostrou ajuste adequado, validando a equação linear para *Bauhinia forficata*. Conclui-se que o modelo linear ($\hat{Y} = -0,68 + 0,70x$, $R^2=0,98$) melhor representa a área foliar da espécie em função do comprimento versus largura.

Palavras-chave: Pata-de-vaca. Modelos lineares. Planta medicinal.

Determination of the leaf area of *Bauhinia forficata* using mathematical models

ABSTRACT

The "pata-de-vaca" (*Bauhinia forficata* Link), belonging to the Fabaceae family, is a medicinal plant with leaves as its pharmacognosy. These leaves are sold in open markets and contain the chemical marker kaempferitrina, responsible for its hypoglycemic activity. The leaf area, crucial for photosynthesis, plays a decisive role in processes related to metabolism, biomass, phenology, and crop yield. In this context, the aim was to develop a mathematical model to estimate the leaf area of *B. forficata*. Two hundred leaves were collected from specimens at the Medicinal Plants Garden of UFLA. The leaflets were separated, scanned using an EPSON PERFECTION V700 PHOTO scanner, and the observed leaf area (OLA) was determined by the WinFOLIATM software. Linear models, graphs, and histograms were created using STATISTICA. The relationship between observed leaf area (OLA) and the product of length and width (estimated leaf area - ELA) showed a good fit, validating the linear equation for *Bauhinia forficata*. It is concluded that the linear model ($\hat{Y} = -0.68 + 0.70x$, $R^2=0.98$) best represents the leaf area of the species in terms of length versus width.

Keywords: Pata-de-vaca. Linear models. Medicinal plant.

INTRODUÇÃO

A espécie *Bauhinia forficata* Link pertencente à família Fabaceae, Subfamília Cercidoideae é conhecida popularmente como “mororó-de-espinho”, “pata-de-vaca” ou “unha-de-vaca” devido ao formato de suas folhas, que são bifolioladas, simétricas e de consistência herbácea, com superfícies adaxial glabra e abaxial pilosa, sendo os dois folíolos unidos da base até a metade do limbo; o ápice dos folíolos é agudo, a base da sua lâmina foliar é levemente cordada, sendo que a margem é inteira (LUSA; BONA, 2009); as folhas medem quando adultas de 7-12 cm de comprimento. Além disso, de acordo com Oliveira e Saito (1989), uma das características marcantes da espécie é a presença de acúleos nos ramos na base das folhas. Esta espécie é uma leguminosa nativa da Mata Atlântica, arbustiva, decídua de porte médio a grande, perene, atingindo até 8 metros de altura e se desenvolve em quase todos os tipos de solos (LÓPEZ; SANTOS, 2015).

Muito difundida na cultura popular brasileira, as folhas são comercializadas em feiras livres, podendo ser utilizadas como medicamento e também como alimento para animais em algumas regiões, sendo considerada uma planta ornamental podendo ser, também, utilizada como cobertura morta. Devido ao seu principal consumo estar associado ao uso medicinal, estudos que investigaram a composição química de suas folhas possibilitaram a identificação de um marcador químico, denominado kaempferitrina, que contribui para explicar a atividade hipoglicemiante das folhas da espécie (AQUINO et al., 2019). Apesar da ampla utilização das folhas de *Bauhinia forficata* como medicinal, a sua composição fitoquímica é consideravelmente distinta dependendo da região, solo, clima e altitude do local de cultivo, e conseqüentemente, os seus efeitos terapêuticos, tornando-se necessário mais informações morfoanatômicas que caracterizem melhor a espécie e em particular as suas folhas que são consideradas como droga vegetal (SIMÕES; ALMEIDA, 2015).

Devido à sua relação direta com a fotossíntese, a área foliar é determinante em processos relacionados ao metabolismo, acúmulo de biomassa, fenologia e rendimento dos cultivos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). De acordo com Toebe et al., (2012) a área foliar é importante na mensuração do crescimento de uma espécie, e pode ser determinada diretamente por meio do método de fotos digitais e indiretamente pode ser obtida por modelos de estimativa de área foliar em função de dimensões lineares das folhas. As técnicas utilizadas para determinar a área foliar devem ser simples, rápidas,

precisas (SOUZA et al., 2012) e de preferência que não destruam as folhas (Sarker et al., 2013) para que a medição direta seja realizada (BLANCO; FOLEGATTI, 2005).

Modelos que relacionam a área foliar com as dimensões lineares das folhas foram desenvolvidos para diversas espécies do gênero *Bauhinia* L., para *Bauhinia monandra* Kurz (SCHMILDT et al., 2016) e em um estudo comparativo de outras nove espécies deste mesmo gênero (LIMA; SILVA et al., 2007). No entanto, trabalhos que façam modelagens por métodos não destrutivos não foram encontrados na literatura para *Bauhinia forficata*.

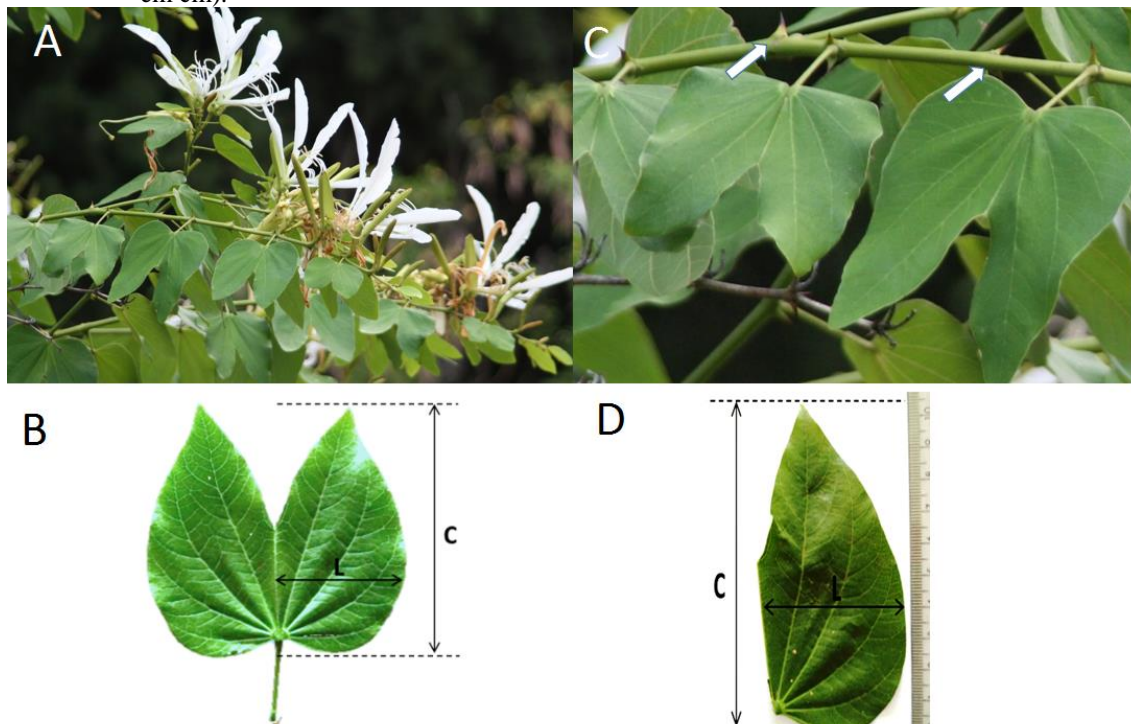
Assim, objetivou-se desenvolver um modelo matemático para estimar a área foliar de *Bauhinia forficata*, determinada por fotos digitais, em função do comprimento, ou da largura e/ou do produto comprimento vezes largura da folha.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material vegetal

Para o estudo inicial e interpretação dos resultados, determinou-se a área foliar, de *Bauhinia forficata* (Figura 1A), na fase de crescimento vegetativo, utilizando-se um método, inicialmente, destrutivo, onde foram retiradas 200 folhas compostas de dois folíolos que são unidos na base até a porção mediana (Figura 1B) sem sintomas de ataque de pragas e doenças, do quarto ao sexto nó de ramos plenamente desenvolvidos, de uma população, de 12 plantas, encontrada em um Remanescente de Floresta Estacional Semidecidual no Horto de Plantas Medicinais do Departamento de Agricultura – DAG da Escola de Ciências Agrárias - ESAL da Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, Minas Gerais (nas coordenadas geográficas: S 21° 13' 48.8'' e W 44° 58' 28.5'', 918 metros de altitude). Na Figura 1C, nota-se a presença de acúleos nos ramos da espécie e na Figura 1D, tem-se a morfologia do folíolo direito, utilizado nas aferições das medidas lineares.

Figura 1 - *Bauhinia forficata* – A) Ramo com flores brancas; B) Morfologia da folha, composta por dois folíolos; C) As setas apontam para os acúleos presentes nos ramos da espécie; D) Morfologia do folíolo direito: comprimento (C) e a largura (L) para mensuração da área estimada (escala em cm).



Estimativa da área foliar

Após a coleta das folhas, os folíolos foram separados e as observações foram realizadas utilizando-se o folíolo direito, a partir da observação da face adaxial (Figura 1D). A escolha de 1 dos folíolos seguiu a diretriz de Schmidt et al., (2016) que ao estudarem a espécie *Bauhinia monandra*, também utilizaram 1 dos folíolos, os quais foram denominados pelos autores de lobo, porém, sem definir a posição dele na folha, e se seguiu o modelo utilizado por Ribeiro et al. (2022) ao definirem a avaliação do folíolo central da folha trifoliada de *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae: Faboideae).

As mensurações foram realizadas por método de fotos digitais em um escâner EPSON PERFECTION V700 PHOTO e a área foliar observada (AFO) foi determinada a pelo software WinFOLIATM. A partir deste mesmo software foram obtidas as medidas lineares: comprimento (C) e a largura (L) da face adaxial dos folíolos direito, calculado o produto comprimento \times largura (C \times L) e determinada a área foliar estimada (AFE), em superfície contrastante de coloração branca.

A partir dos dados, foram feitas regressões do tipo linear, quadrática e potencial, gráficos e histogramas de frequência utilizando o software STATISTICA (Electronic

Statistics Textbook. Tulsa, OK) para estimar a AFE, sendo as medidas lineares C, L e CxL foram as variáveis dependentes e a AFE a variável independente. A validação dos modelos foi feita baseando-se nos valores estimados pelo modelo (AFE) e os valores observados (AFO) em 200 folhas colhidas aleatoriamente do quarto e quinto nó de árvores de *Bauhinia forficata*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tamanho amostral requerido para este estudo foi de 200 folhas da espécie. Na literatura, tem sido variável o número de folhas usadas para modelagens matemáticas, onde são verificados desde 18 folhas para videira ‘Cabernet-Sauvignon’ (*Vitis vinifera* L. - Vitaceae) (TSIALTAS et al., 2008) até 720 folhas para mangueira ‘Tommy atkins’ (*Mangifera indica* L.- Anacardiaceae) (LIMA et al., 2012). O número amostral de 200 folhas foi baseado nos trabalhos de Schmildt et al., (2016) ao estudarem a área foliar da *Bauhinia monandra*, e Ribeiro et al., (2022) em estudo da área foliar de *Erythrina velutina* (Fabaceae).

Na Tabela 1 são apresentados os valores mínimo, máximo, amplitude, média, mediana e coeficiente de variação (CV), do comprimento (C), da largura (L), do produto comprimento vezes largura (CxL) e da área foliar determinada por fotos digitais (Y), oriundas do escaneamento de 200 folhas de *Bauhinia forficata*.

Tabela 1 – Valores mínimos, máximos, amplitudes, médias, medianas e coeficientes de variação (CV), do comprimento (C), da largura (L), do produto comprimento vezes largura (CxL) e da área foliar determinada por fotos digitais (Y) de 200 folhas de *Bauhinia forficata*.

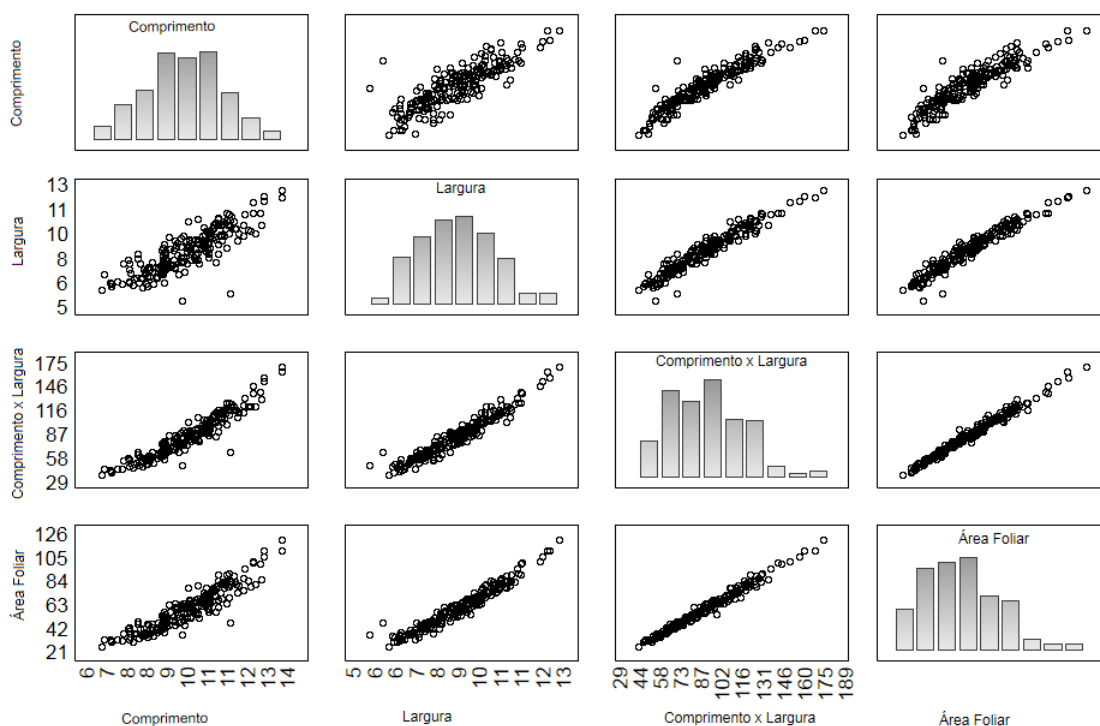
Estatística descritiva	C (cm)	L (cm)	CxL (cm)	Y (cm²)
Mínimo	6,60	5,44	40,87	28,21
Máximo	13,49	12,75	171,86	122,55
Amplitude	6,89	7,31	130,99	94,34
Média	9,90	8,80	88,73	61,71
Mediana	9,95	8,79	87,88	61,00
CV (%)	14,14	16,08	28,94	29,53

Observa-se que as folhas de pata-de-vaca apresentaram valores bem variados com relação ao seu comprimento mínimo e comprimento máximo, o mesmo se aplica a largura e comprimento *versus* largura, associado à elevada magnitude do coeficiente de variação.

De acordo com Cargnelutti Filho et al. (2012), é importante valores que sejam diferentes para a geração de modelos matemáticos, indicando que as amostras de folhas são bem representativas da população, com folhas de diferentes tamanhos, sendo interessante para trabalhos de modelagem, podendo as equações serem usadas para folhas pequenas, médias e grandes. Entretanto, mesmo a coleta sendo homogênea com folhas do quarto e quinto nó é possível notar a diferença entre os valores.

Os gráficos de dispersão, entre as variáveis C, L, C×L e Y, revelaram padrões nos dados que sugerem modelos mais lineares (Figura 2).

Figura 2 – Matriz com o histograma de frequência (na diagonal) e gráficos de dispersão entre o comprimento, em cm, a largura, em cm, o produto comprimento x largura, em cm² e a área foliar determinada por fotos digitais, em cm² de 200 folhas de *Bauhinia forficata*.



Os maiores valores de coeficiente de determinação (R^2) entre a área foliar e o produto do comprimento pela largura da folha, indicam que as equações lineares permitem estimativas mais precisas da área foliar de pata de vaca, além disso a equação linear é simples, com a reta passando pela origem a mais recomendada (Tabela 2).

Tabela 2 – Equações para a determinação da área foliar por fotos digitais (Y), utilizando o comprimento (C), a largura (L) e o produto comprimento vezes largura (C×L) como variáveis independentes (x) e coeficiente de determinação, com base em 200 folhas de *Bauhinia forficata*.

Modelo	Variável independente (x)	Equação	Coefficiente de determinação
1) Linear	C	$\hat{Y} = -56,75 + 11,97x$	0,89
2) Linear	L	$\hat{Y} = -48,18 + 12,49x$	0,95
3) Linear	CxL	$\hat{Y} = -0,68 + 0,70x$	0,98
4) Quadrático	C	$\hat{Y} = 26,93 - 5,28x + 0,87x^2$	0,90
5) Quadrático	L	$\hat{Y} = 13,70 - 1,71x + 0,79x^2$	0,96
6) Quadrático	CxL	$\hat{Y} = 0,47 + 0,68x + 0,001x^2$	0,98
7) Potência	C	$\hat{Y} = 0,7548x^{1,9107}$	0,86
8) Potência	L	$\hat{Y} = 1,2917x^{1,7685}$	0,96
9) Potência	CxL	$\hat{Y} = 0,671x^{1,0077}$	0,98

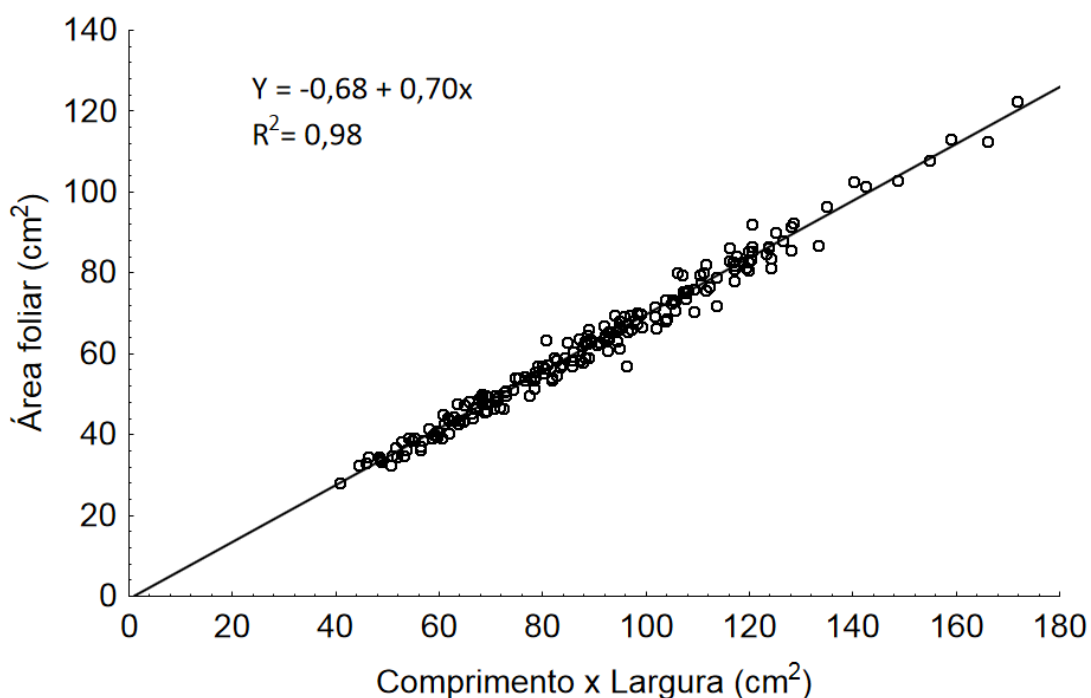
Nota-se que, de maneira geral todas as equações (modelo linear, quadrático e de potência) permitiram boas estimativas da área foliar devido ao coeficiente de determinação ser $\geq 0,95$ exceto para as equações lineares e potência da variável dependente “C”, que obteve um coeficiente de determinação de 0,85. Além disso, todos os outros modelos apresentaram coeficiente linear diferente de zero, no entanto, apenas os três modelos determinados utilizando a variável dependente “CxL” apresentam $R^2 > 0,98$. Assim, por apresentarem R^2 inferior a 0,98 os modelos quadráticos lineares e potências para as variáveis dependentes “C” e “L” podem ser considerados menos adequados para a estimativa da área foliar desta espécie.

Desempenhos superiores de modelos ajustados em função do “CxL” também foram encontrados nas plantas de *Cucumis sativus* L. “pepino” (Cucurbitaceae) (BLANCO; FOLEGATTI, 2005), *Manihot pseudoglaziovii* Pax & Hoffman, *Manihot piauhyensis* Ule. “maniçoba” (Euphorbiaceae) (PINTO et al., 2007), *Sida cordifolia* L. “malva-branca” (Malvaceae) e *Sida rhombifolia* L. “planta-do-chá” (Malvaceae) (BIANCO et al., 2008), *Curcuma zedoaria* L. “zedoária” e *Curcuma alismatifolia* L. “açafraão-da-conchinchina” (Zingiberaceae) (PINTO et al., 2008), *Raphanus sativus* L.

var. *oleiferus* Metzg (Brassicaceae) “nabo-forrageiro” (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012), *Arachis hypogaea* L. (Fabaceae: Papilionoideae) “amendoim” (Cardozo et al., 2014), e recentemente para a espécie *Myrcia variabilis* Mart. ex DC (Myrtaceae) (SALIMENA et al., 2021).

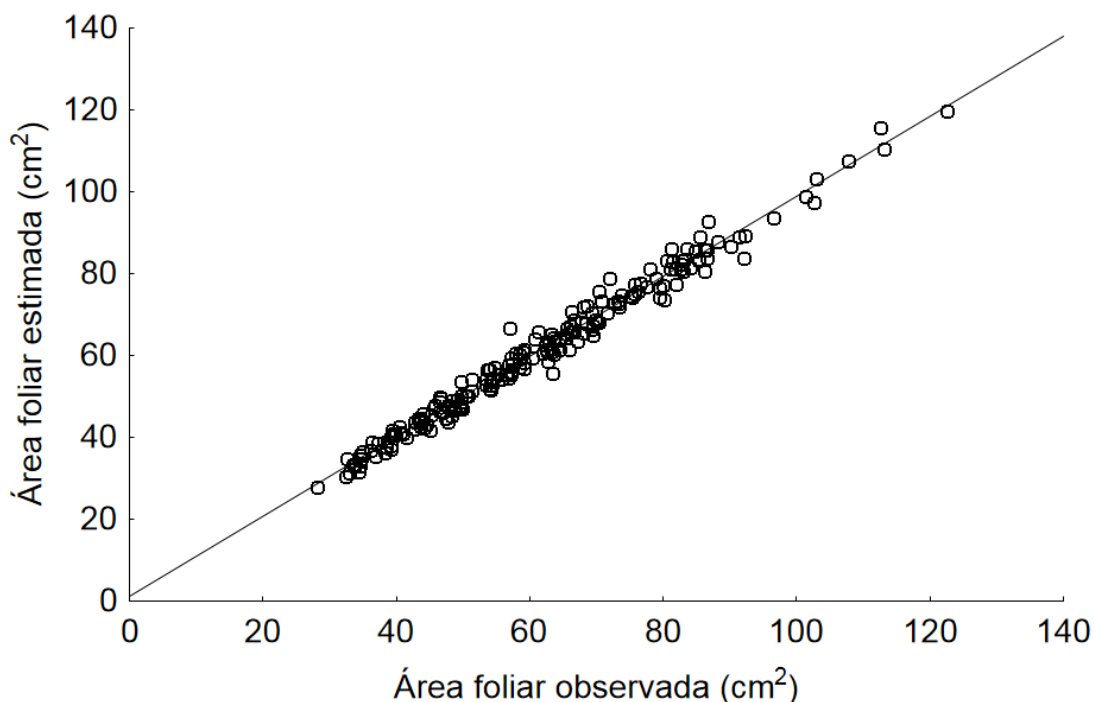
Pode-se observar na Figura 3, que os dados referentes à área foliar das folhas de *Bauhinia forficata* em relação ao comprimento versus largura, submetidas à análise de regressão com a reta passando pela origem ($a=0$), se ajustaram a um modelo linear ($\hat{Y} = -0,68 + 0,70x$), apresentando uma equação que permite obter estimativas satisfatórias da área foliar, com coeficiente de determinação de 0,98.

Figura 3 – Modelo linear, da área foliar determinada por fotos digitais oriundas de escaneamento (cm^2) em função do produto comprimento x largura (cm^2), com base em 200 folhas de *Bauhinia forficata*.



Ao relacionar os valores de área foliar observada em função do produto do comprimento pela largura (área foliar estimada) através do modelo linear, pode-se verificar na Figura 4 que os pontos possuem um bom ajuste, confirmando mais uma vez que a equação linear é a mais adequada para a espécie *Bauhinia forficata*.

Figura 4 – Relação entre os valores de área foliar observada (determinada) por meio do método de fotos digitais oriundas de escaneamento e a área foliar estimada em função do comprimento x largura, através do modelo linear, em 200 folhas de *Bauhinia forficata*.



Na prática, o uso de equações de modelos lineares, baseados em apenas uma dimensão são preferíveis por sua simplicidade e aplicabilidade, principalmente quando estas aferições são feitas em campo (Tsialtas & Maslaris, 2005). Além disso, tais considerações também foram feitas por Schmidt et al., (2016), para *Bauhinia monandra*, onde um modelo matemático linear foi o mais apropriado para estimativa de área foliar.

CONCLUSÃO

A representação matemática que melhor estima à área foliar de *Bauhinia forficata* foi representada pelo modelo linear ($\hat{Y} = -0,68 + 0,70x$, $R^2=0,98$) em função do CxL. Assim, verifica-se que esta é uma técnica de determinação de área foliar simples, rápida e precisa não sendo mais necessário arrancar ou destruir as folhas desta espécie para obter informações de sua área foliar por possuir uma equação previamente estabelecida.

REFERÊNCIAS

AQUINO, A. J.; ALVES, T. C.; OLIVEIRA, R. V.; FERREIRA, A. G.; CASS, Q. B. Chemical secondary metabolite profiling of *Bauhinia longifolia* ethanolic leaves extracts. **Industrial. Crops and Products**, v. 132, p. 59-68, 2019.

- BIANCO, S.; CARVALHO, L. B.; BIANCO, M. S. Estimativa da área foliar de *Sida cordifolia* e *Sida rhombifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, v. 26, p. 807-813, 2008.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 305-309, 2005.
- CARDOZO, N. P.; PARREIRA, M. C.; PANOSSO, A. R.; VOLPE, C. A. Modelagem da área foliar de duas cultivares de amendoim em função das dimensões lineares dos folíolos. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 101-107, 2014.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; FICK, A. L.; CASAROTTO, G. Estimativa da área foliar de nabo forrageiro em função de dimensões foliares. **Bragantia**, v. 71, p. 47-51, 2012.
- 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**, v. 34, p. 974-980, 2012.
- LÓPEZ, R. E. S; SANTOS, B. C. *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae). **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v. 9, p. 161-252, Jul-Set, 2015.
- LUSA, M. G.; BONA, C. Análise morfoanatômica da folha de *Bauhinia forficata* Link. e *Bauhinia variegata* Linn. (Leguminosae, Casesalpinioideae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 1, p. 196-211, 2009.
- OLIVEIRA, F. E; SAITO, M. L. Alguns vegetais brasileiros empregados no tratamento da diabetes. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 2-4, p. 170-196, 1989.
- PINTO, A. C. R.; GRAZIANO, T. T.; BARBOSA, J. C.; LASMAR, F. B. Modelos para estimativa da área foliar de *Curcuma alismatifolia* e *Curcuma zedoaria*. **Bragantia**, v. 67, p. 549-552, 2008.
- PINTO, M. S. C.; ANDRADE, A. P., PEREIRA, W. E; ARRUDA, F. P; ANDRADE, M. V. M. Modelo para estimativa da área foliar da maniçoba. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 391-395, 2007.
- RIBEIRO, J. E. da S; FIGUEIREDO, F. R. A.; NÓBREGA, J. S.; COELHO, E. dos S.; MELO, M. F. Leaf area of *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae) by using allometric equations. **Floresta**, v. 52, n. 1, p. 093-102, 2022.
- SALIMENA, J. P.; OLIVEIRA, J. A. C.; COELHO, A. D.; GAVILANES, M. L.; RESENDE, L. V. Modelo matemático para estimativa da área foliar de *Myrcia variabilis* (MYRTACEAE). **Revista Científica Multidisciplinar**. v. 2, n. 10, 2021. <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i10.814>
- SARKER, S. K.; DAS, N.; CHOWDHURY, M. Q.; HAQUE, M. M. Developing allometric equations for estimating leaf area and leaf biomass of *Artocarpus chaplasha* in Raghunandan Hill Reserve, Bangladesh. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**. v. 75, n. 1, p. 51-57, 2013. <https://doi.org/10.2989/20702620.2013.773601>
- SCHMILDT, E. R; SCHMILDT, O; ALEXANDRE, R. S.; FERNANDES, A. A.; CZEPAK, M. P. Modelos alométricos na determinação da área foliar de *Bauhinia monandra* Kurz. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 415-419, 2016.
- SIMÕES, R. C; ALMEIDA, S. S. M. S. Estudo fitoquímico de *Bauhinia forficata* (Fabaceae). **Biota Amazônica**, v. 5, n. 1, p. 27-31, 2015.
- SILVA, P. S. L.; CUNHA, T. M. S.; SOUZA, A. D.; PAULA, V. F. S. Equations for leaf area estimation in some species adapted to the brazilian semi-arid. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 18-23, 2007.
- SOUZA, M. S.; ALVES, S. S. V.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, J. D. B.; AROUCHA, E. M. M. Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 42, n. 2, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200016>

TOEBE M.; CARGNELUTTI, A.; BURIN, C.; FICK, A.; NEU, I. M. M; CASAROTTO, G.; ALVES, B. M. Modelos para a estimação da área foliar de feijão de porco por dimensões foliares. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 37-41, 2012.

TSIALTAS, J. T.; KOUNDOURAS, S.; ZIOZIOU, E. Leaf area estimation by simple measurements and evaluation of leaf area prediction models in Cabernet-Sauvignon grapevine leaves. **Photosynthetica**, v. 46, p. 452-456, 2008.

TSIALTAS J. T.; MASLARIS N. Leaf area estimation in a sugar beet cultivar by linear models. **Photosynthetica**, v. 43, p. 477-479, 2005.