

## Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais

### Estimate leaf area of *Crambe abyssinica* for leaf discs and digital photos

Marcos Toebe<sup>1\*</sup> Betânia Brum<sup>1</sup> Sidinei José Lopes<sup>1</sup> Alberto Cargnelutti Filho<sup>1</sup>  
Tatiani Reis da Silveira<sup>1</sup>

#### - NOTA -

#### RESUMO

A área foliar é importante na determinação do crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas. Assim, os objetivos do trabalho foram comparar os métodos de discos foliares e de fotos digitais na estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* e modelar a área foliar em função do comprimento (C), da largura (L) e ou do produto comprimento vezes largura (CxL) de diferentes tamanhos de folhas. Para isso, em 308 folhas, foram determinados a área foliar, o comprimento, a largura e o produto comprimento vezes largura por meio dos métodos de discos foliares e de fotos digitais. Em seguida, foram comparados os métodos por meio do coeficiente de correlação linear entre a área foliar. A seguir, em cada método, modelou-se a área foliar (Y) em função do C, da L e do CxL, por meio dos modelos: linear, linear simples, quadrático, geométrico e exponencial. Os coeficientes de correlação linear de Pearson e de Spearman entre a área foliar dos métodos de discos foliares e de fotos digitais foram de 0,9917 e 0,9889, respectivamente, o que revela métodos concordantes. Em ambos os métodos, os modelos quadráticos e geométricos apresentaram os melhores coeficientes de determinação da área foliar em função do comprimento e da largura das folhas. A largura da folha é a variável que melhor estima a área foliar. O método de fotos digitais pode ser utilizado para estimar a área foliar de *crambe*.

**Palavras-chave:** modelagem, método não destrutivo, regressão.

#### ABSTRACT

Leaf area is important in determining the growth and development of agricultural crops. The aim of this study was to compare the methods of leaf discs and digital photos in

estimating leaf area of *Crambe abyssinica*, and model leaf area according to length (C), width (L) and/ or the product of length width (CxL) for different sizes of leaves. For this, in 308 leaves it was determined the leaf area, length, width and the product of length width using the methods of leaf discs and digital photos. Then the methods were compared using the linear correlation coefficient between the leaf areas. Then, for each method, leaf area (Y) depending on the C, of L and the CxL, was modeled through these models: linear, simple linear, quadratic, geometric and exponential. The Pearson and Spearman linear correlation coefficient between the methods of leaf area and leaf discs of digital photos were 0.9917 and 0.9889, respectively, which shows concordant methods. In both methods, the geometric and quadratic models showed good coefficients of determination of leaf area depending on the length and width of leaves. The leaf width is the variable that best estimates the leaf area. The method of digital photos can be used to estimate *Crambe's* leaf area.

**Key words:** modeling, non-destructive method, regression.

O *crambe* (*Crambe abyssinica*) é uma cultura da família *Brassicaceae*, originária da região do Mediterrâneo e com relatos de ocorrência de algumas espécies na Etiópia (WEISS, 2000). Essa cultura é considerada potencial para a produção industrial de biocombustíveis, pelo elevado potencial lubrificante e teor de óleo em sua composição, com valores entre 30 e 45% da semente (KATEPA-MUPONDWA et al., 1999).

<sup>1</sup>Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: m.toebe@gmail.com. \* Autor para correspondência.

Embora existam informações em relação às características agrônômicas da cultura (DAHNIKE et al., 1992) e à determinação de tamanhos de parcela e de temperatura base (KMEC et al., 1998), não foram encontrados estudos acerca da modelagem da área foliar de crambe.

A folha é um importante órgão das plantas, sendo o principal órgão envolvido no processo fotossintético e na evapotranspiração, responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente (PEREIRA et al., 1997). Há duas categorias de métodos para estimar a área foliar: métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos, na sua maioria, são destrutivos e demorados, necessitando a colheita de folhas ou de biomassa. Por outro lado, os métodos indiretos estimam a área foliar a partir de uma determinada variável independente. O uso de modelos para estimar a área foliar é simples, rápido, preciso e confiável. O procedimento usual desse método envolve medidas do comprimento, da largura e das áreas de folhas amostradas e, em seguida, obtenção dos coeficientes de determinação que relacionam as medidas lineares com a área da folha. Esse método matemático elimina a necessidade do uso de medidores e reconstruções geométricas e reduz o tempo das medições (GAMIELY et al., 1991).

Os objetivos do presente trabalho foram comparar os métodos de discos foliares e de fotos digitais na estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* e modelar a área foliar em função do comprimento ou da largura e/ou do produto comprimento vezes largura de diferentes tamanhos de folhas.

Foi conduzido um experimento com a cultura do crambe de julho a outubro de 2008, no Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria, com latitude de 29°43'S, longitude de 53°43'W e altitude 95m. O clima da região é do tipo fundamental Cfa subtropical úmido, conforme classificação de Köppen. O solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), de textura superficial franco arenosa.

Foi realizada a semeadura da cultura no mês de julho de 2008, sendo efetuada adubação de base consistindo de: 35kg ha<sup>-1</sup> de N, 140kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 140kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A densidade de plantas foi ajustada para 100 plantas m<sup>-2</sup>, com espaçamento entre linhas de 0,17m e entre plantas na linha de 0,058m. Para a determinação da área foliar, foram coletadas 308 folhas aleatoriamente, com diferentes tamanhos, quando as plantas estavam em crescimento vegetativo pleno (60 dias após a semeadura).

Em 308 folhas, foram medidos o comprimento (C) e a largura (L) com régua milimetrada, e foi determinada a área foliar a partir do método de discos foliares. Em seguida, estimou-se o produto comprimento vezes largura (CxL). As mesmas folhas foram fotografadas por meio de uma câmera digital da marca Sony, modelo DSC-W110, colocando-se sob as folhas um papel milimetrado, como referencial de medida das fotos. Depois, essas imagens foram processadas com o programa Sigma Scan Pro v. 5.0, Jandel Scientific (JANDEL SCIENTIFIC, 1991), para as determinações de comprimento (C), de largura (L) e de área foliar. A seguir, calculou-se o produto comprimento vezes largura (CxL).

Posteriormente, determinaram-se os coeficientes de correlação linear de Pearson e de Spearman entre a área foliar obtida pelos métodos de discos foliares e de fotos digitais. Após isso, em cada método, modelou-se a área foliar (Y) em função do C ou da L e/ou do CxL, por meio dos modelos: linear ( $Y = a + b^x$ ), linear simples ( $Y = b^x$ ), quadrático ( $Y = a + b^x + cx^2$ ), geométrico ( $Y = ax^b$ ) e exponencial ( $Y = ab^x$ ), com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel (2007), utilizando 15 casas decimais para o ajuste das equações. Também modelou-se a área foliar (Y), obtida pelo método de fotos digitais em função do C ou da L e/ou do CxL obtidas por meio de régua milimetrada.

Os critérios utilizados para escolher os modelos que melhor estimam a área foliar em função do C ou da L e/ou do CxL foram o maior coeficiente de determinação e a menor dispersão dos pontos em relação à área foliar real (soma de quadrado dos resíduos).

Os coeficientes de correlação linear de Pearson e de Spearman entre a área foliar dos métodos de discos foliares e de fotos digitais foram respectivamente de 0,9917 e 0,9889 ( $P < 0,01$ ). Portanto, pode-se inferir que o método de fotos digitais é eficiente na determinação de área foliar de crambe, permitindo uma maior rapidez de determinação e ainda a possibilidade de avaliações posteriores pela não destruição das folhas. LOPES et al. (2007a,b) encontraram coeficientes de correlações lineares elevados, de 0,94 e 0,99, respectivamente, para as culturas de nastúrcio e melão, revelando a possibilidade de determinação de área foliar com alta precisão, por meio de fotos digitais.

O modelo exponencial apresentou desempenho inferior aos demais modelos, com valor de coeficiente de determinação menor e maior soma de quadrados dos resíduos (SQR), não sendo dessa forma descrito na tabela 1.

Tabela 1 - Coeficiente de determinação, somas de quadrados dos resíduos e equações estimadas para a determinação da área foliar (Y) por discos foliares e por fotos digitais, utilizando o comprimento (C), a largura (L) e o produto comprimento vezes largura (CxL) como variáveis independentes (x), mínimo, máximo, média e desvio padrão do comprimento (C) e da largura (L) em *Crambe abyssinica*. UFSM, Santa Maria, RS. 2009.

Variável independente (x)	Modelo	Coeficiente de Determinação	Somas de Quadrados de Resíduos	Equação estimada
-----Área foliar determinada por discos foliares em função de C, L e CxL medidos com régua milimetrada-----				
C	Quadrático	0,9379	22712	$Y = 0,5161x^2 - 1,1435x + 7,3063$
L	Quadrático	0,9733	9743	$Y = 0,8696x^2 + 1,9389x - 6,8149$
CxL	Quadrático	0,9717	10331	$Y = 0,00004x^2 + 0,6821x + 0,4808$
C	Geométrico	0,9359	24048	$Y = 0,6085x^{1,8968}$
L	Geométrico	0,9669	12396	$Y = 0,7886x^{2,1127}$
CxL	Geométrico	0,9668	10450	$Y = 0,6412x^{1,0165}$
CxL	Linear	0,9717	10340	$Y = 0,6911x + 0,1235$
CxL	Linear simples	0,9717	10341	$Y = 0,6922x$
-----Área foliar determinada por fotos digitais em função de C, L e CxL obtidos por fotos digitais-----				
C	Quadrático	0,9567	13835	$Y = 0,4896x^2 - 1,5888x + 10,5083$
L	Quadrático	0,9867	4260	$Y = 0,8173x^2 + 1,7837x - 5,1517$
CxL	Quadrático	0,9893	3428	$Y = 0,0001x^2 + 0,6220x + 1,6592$
C	Geométrico	0,9591	17532	$Y = 0,7210x^{1,7946}$
L	Geométrico	0,9889	4619	$Y = 0,9737x^{1,9899}$
CxL	Geométrico	0,9903	3867	$Y = 0,7763x^{0,9601}$
CxL	Linear	0,9892	3452	$Y = 0,6369x + 1,0366$
CxL	Linear simples	0,9889	3548	$Y = 0,6462x$
-----Área foliar determinada por fotos digitais em função de C, L e CxL medidos com régua milimetrada-----				
C	Quadrático	0,9382	19748	$Y = 0,5320x^2 - 2,1723x + 13,7622$
L	Quadrático	0,9795	6549	$Y = 0,9286x^2 + 0,0206x + 1,3451$
CxL	Quadrático	0,9756	7783	$Y = 0,0003x^2 + 0,5829x + 4,0057$
C	Geométrico	0,9405	25124	$Y = 0,8301x^{1,7519}$
L	Geométrico	0,9745	6592	$Y = 1,0494x^{1,9541}$
CxL	Geométrico	0,9729	9444	$Y = 0,8690x^{0,9395}$
CxL	Linear	0,9743	8220	$Y = 0,6511x + 1,0$
CxL	Linear simples	0,9737	8392	$Y = 0,6603x$
		-----Medidos com régua milimetrada-----		-----Obtidos por fotos digitais-----
	Comprimento	Largura	Comprimento	Largura
Mínimo	3,50	2,70	3,58	2,39
Máximo	20,00	14,90	20,48	15,06
Média	10,06	7,04	10,32	7,07
Desvio padrão	3,41	2,30	3,49	2,31

Os modelos que relacionam a área foliar com o comprimento, a largura e o produto comprimento vezes largura, ambos obtidos por meio de fotos digitais, apresentaram os melhores ajustes. Em situação intermediária, estão os modelos que relacionam a área foliar obtida por meio de fotos digitais e o comprimento, a largura e o produto comprimento obtidos por régua milimetrada. Com desempenho inferior, estão os modelos que relacionam a área foliar obtida por meio de discos foliares e o comprimento, a largura e o produto comprimento vezes largura obtidos por régua

milimetrada (Tabela 1). Os elevados valores do coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 0,9379$ ) sugerem que as três propostas apresentadas anteriormente podem ser utilizadas para estimar a área foliar usando as medidas de comprimento ou de largura ou de comprimento vezes largura.

Os menores valores de coeficiente de determinação e maiores valores de SQR foram observados quando utilizou-se a variável comprimento para determinação da área foliar obtida por discos foliares ou por fotos digitais. Resultado similar foi

observado para as culturas de meloeiro (LOPES et al., 2007b) e de morangueiro (PIRES et al., 1999). Esse fato comprova que, embora se tenha uma precisão relativamente alta na determinação pela variável comprimento da folha, esta apresenta maior variabilidade de comportamento em relação à variável largura, em diferentes tamanhos de folhas.

A largura apresentou os melhores modelos de estimativa de área foliar, principalmente, nos modelos quadráticos e geométricos, considerando a largura determinada por fotos digitais e a área foliar por fotos digitais e por discos foliares. Os modelos linear e linear simples determinaram com boa precisão a área foliar de ambos os métodos em função do comprimento vezes a largura, sendo interessante na determinação da área foliar, pela simplicidade das equações e pelos bons ajustes encontrados (Tabela 1). O produto comprimento vezes largura, em todos os modelos, apresentou elevados valores de coeficiente de determinação (próximos a 1), mostrando que, embora os valores de comprimento apresentem certa dispersão pelas equações estimadas, quando se realiza o produto entre o comprimento e a largura, essas dispersões são minimizadas. Em razão da similaridade dos modelos que consideram o produto entre o comprimento e a largura e aqueles que consideram somente a largura e considerando a maior mão-de-obra para a coleta de duas variáveis (comprimento e largura) para a determinação do CxL, não se justifica a utilização dessas equações, e sim a utilização das equações que consideram apenas a variável largura, pela praticidade e precisão dos resultados (Tabela 1).

O método de fotos digitais pode ser utilizado para estimar a área foliar da cultura de crambe, e a largura da folha é a variável que melhor estima a área foliar. Quando se considera uma única variável independente (comprimento ou largura), os modelos que melhor determinam a área foliar são o quadrático e o geométrico; já, quando se usa o produto comprimento vezes largura, os modelos linear e linear simples também permitem

alto grau de precisão na determinação da área foliar de crambe.

## REFERÊNCIAS

- DAHNIKE, W.C. et al. **Fertilizing mustard, rapeseed, canola and crambe**. Fargo, ND: NDSU, 1992. (Extension Publication SF-718).
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.
- GAMIELY, S. et al. A rapid and nondestructive method for estimating leaf area of onions. **Hort Science**, v.26, p.206, 1991.
- KATEPA-MUPONDWA, F. et al. Developing oilseed yellow mustard (*Sinapis alba* L.) in Western Canada. In: INTERNATIONAL RAPESEED CONGRESS, 10., 1999, Canberra, Australia. **Proceedings...** Canberra, Australia: The Regional Institute, 1999. 6p.
- KMEC, P. et al. Growth analysis of crambe. **Crop Science**, v.38, p.108-112, 1998.
- JANDEL SCIENTIFIC. **User's Manual**. California, 1991. 280p.
- LOPES, S.J. et al. Área foliar e número de flores de nastúrcio sob duas densidades de plantio. **Horticultura brasileira**, v.25, p.159-163, 2007a. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-05362007000200006&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362007000200006&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 12 nov. 2009. doi: 10.1590/S0102-05362007000200006.
- LOPES, S.J. et al. Estimativa da área foliar de meloeiro em diferentes estádios fenológicos por fotos digitais. **Ciência Rural**, v.37, p.1153-1156, 2007b. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782007000400039&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000400039&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 12 nov. 2009. doi: 10.1590/S0103-84782007000400039.
- PEREIRA, A.R. et al. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ/USP, 1997. 70p.
- PIRES, R.C.M. et al. Estimativa da área foliar de morangueiro. **Horticultura Brasileira**, v.17, p.86-90, 1999.
- WEISS, E.A. **Oilseed crops**. London: Blackwell Science, 2000. 364p.