

AValiação de Modelos Matemáticos para Obtenção da Área Foliar do Girassol (*Helianthus annuus L.*, var. Catissol)

BERGSON GUEDES BEZERRA¹, JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA², JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO³, RAFAEL DA COSTA FERREIRA⁴, GIULLIANA MAIRANA MORAIS DE SOUSA⁵, VÁGNA DA COSTA PEREIRA⁶

¹ Universidade Federal de Campina Grande /Departamento de Ciências Atmosféricas, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, 58.109-970, Campina Grande-PB. E-Mail: bergson.bezerra@gmail.com, pvieira@dca.ufcg.edu.br.

² Embrapa Algodão, Rua Osvaldo Cruz, Campina Grande-PB

³ Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.

⁴ Embrapa Algodão, Rua Osvaldo Cruz, Campina Grande-PB

⁵ Engenheira Agrônoma, Aluna do PPG em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.

⁶ Aluna de graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

RESUMO – O uso de métodos não-destrutivos para determinação da área foliar de culturas e que utilizam como dados de entrada as medidas das dimensões lineares das folhas é bastante comum. Nesse estudo onze modelos matemáticos foram aplicados na determinação da área foliar do girassol. Os resultados mostraram que todos os modelos avaliados propiciaram estimativas da área foliar do girassol fortemente correlacionados com os valores observados, apresentando $r > 0,90$. No entanto, os modelos lineares e que requerem as medidas de ambas as dimensões lineares das folhas, o comprimento e a largura, e os modelos quadráticos que requerem as medidas de apenas uma das dimensões apresentaram-se mais precisos. Esses modelos tiveram desempenhos satisfatórios alcançando $r = 0,98$ e $RMSE < 0,40 \text{ cm}^2$.

PALAVRAS-CHAVES: *Helianthus annuus L.*, métodos não-destrutivos, nervura principal.

EVALUATION OF MATHEMATICAL MODELS FOR OBTAINING OF THE AREA to FOLIATE OF THE SUNFLOWER (*Helianthus annuus L.*, var. Catissol)

ABSTRACT - The use of non-destructive methods for determining leaf area of crops and using as input the measurements of linear dimensions of the leaves is quite common. In this study eleven mathematical models were applied in determining the leaf area of sunflower. The results showed that all evaluated models provided estimates of leaf area of sunflower strongly correlated with the observed values, showing. However, the linear models and require measures of both linear dimensions of leaves, length and width, and the quadratic models that require the action of only one dimension had to be more precise. These models have satisfactory performance and achieving $r = 0,98$ and $RMSE < 0,40 \text{ cm}^2$.

KEY-WORDS: *Helianthus annuus L.*, non-destructive methods, main vein.

INTRODUÇÃO: O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma oleaginosa que é utilizada como matéria-prima para a produção de óleo tanto para uso humano como industrial. Os maiores produtores de girassol no Brasil, segundo o IBGE são os estados do Rio Grande do Sul e o Mato Grosso. Na região Nordeste, o cultivo do girassol ainda é pouco difundido, sendo o

estado da Bahia o único produtor com área plantada de aproximadamente 4.000 ha no ano de 2007 (IBGE, 2009). No entanto, o cultivo da oleaginosa no Nordeste possivelmente deverá despertar interesse, devido a sua possível utilização na produção de bio-combustíveis e tendo em vista que a referida cultura não apresenta praticamente nenhuma restrição quanto ao clima, podendo, portanto, ser cultivada em qualquer região do Brasil (LEITE et al., 2007). Nesse sentido, estudos para avaliação da viabilidade econômica do seu cultivo na região se fazem necessários. A área foliar - AF é associada a muitos processos fisiológicos e agrônômicos de culturas agrícolas incluindo crescimento, fotossíntese, interceptação de fótons e balanço de energia (GOUDRIAN & VAN LAAR, 1994). Modelos matemáticos têm sido propostos e são utilizados no cálculo da AF usando como variáveis de entrada o comprimento da nervura principal ou simplesmente comprimento C e a largura L para várias culturas, a exemplo, milho (Stewart e Dwyer, 1999), tomate (Schwarz e Kläring, 2001), maniçoba (Pinto et al., 2007), pinhão manso (Severino et al., 2007) e feijão caupi (Lima et al., 2008). Diante do exposto, objetiva-se com o presente estudo calcular e aplicar diferentes modelos matemáticos constantes na literatura para obtenção da área foliar do girassol cultivado no semi-árido do Nordeste do Brasil e confrontar seus resultados com valores observados em Laboratório.

MATERIAIS E MÉTODOS: Foi conduzido experimento na Base Física da EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte) em Apodi-RN (5°37'37"S; 37°49'54"W; 150 m acima do nível médio do mar). A cultura estudada foi o girassol, cultivar Catisol, plantado em uma área de 1,01 ha, com o espaçamento de 0,90 x 0,30 m, deixando-se uma planta por cova, após o desbaste e irrigada por aspersão convencional. O preparo do solo constou de uma subsolagem até a profundidade de 0,40m, seguida de uma gradagem com grade niveladora. A adubação de fundação foi efetuada no fundo do sulco de plantio, numa dose de 0-60-10 kg.ha⁻¹, N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, utilizando-se como fonte de nutriente o superfosfato triplo e cloreto de potássio. O controle de plantas daninhas foi feito com a aplicação da mistura de herbicidas (metaloclor + trifluralina) na dosagem de 0,8 e 4,0 l.ha⁻¹, respectivamente, aplicados em pré-emergência, para manter a lavoura livre de plantas daninhas, pelo menos durante os primeiros quarenta dias após a emergência. A adubação de cobertura foi efetuada aos 30 dias após a emergência, aplicando-se em cada ocasião, 60 kg.ha⁻¹ de N, sob a forma de uréia. A coleta de plantas foi feita semanalmente a partir do 45º dia após a emergência total até o final do ciclo da cultura. As folhas eram então coletadas em campo e imediatamente transportadas em caixas térmicas com gelo até o Laboratório de Irrigação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA em Mossoró-RN. No Laboratório foram realizadas as medidas da largura e do comprimento além da área foliar de cada folha. As medidas de área foliar foram efetuadas por um integrador de área *LI-3100C Area Meter (LI-COR Bioscience, Lincoln-NE, USA)*. De posse das medidas do comprimento C e da largura L de cada folha foi feito o cálculo da área foliar utilizando-se os modelos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Modelos matemáticos para cálculo da área foliar do girassol

IDENTIFICADOR DO MODELO	FONTE	EQUAÇÃO
M1	Trehan et al. (1975)	$AF = 0,68 \cdot C \cdot L$
M2	Schneiter (1978)	$AF = 18 \cdot C - 129,5$
M3	Schneiter (1978)	$AF = 16,39 \cdot C - 78,8$
M4	Schneiter (1978)	$AF = 0,67 \cdot C \cdot L - 2,45$
M5	Rawson e Constable (1980)	$AF = 0,743 \cdot C \cdot L - 0,74$

M6	Pereyra et al. (1982)	$AF = 0,697 \cdot L^2 + 0,8 \cdot L^*$ $AF = -0,56 \cdot L^2 + 4,29 \cdot L - 15^{**}$
M7	Karanja (1990)	$AF = 0,693 \cdot C \cdot L$
M8	Karanja (1990)	$AF = 18 \cdot C$
M9	Karanja (1990)	$AF = 16,4 \cdot L$
M10	Bange et al. (2000)	$AF = -11,2 \cdot C + 12,3 \cdot L + 0,66$
M11	Rouphael et al. (2007)	$AF = 0,65 \cdot L^2 + 6,72$

* Para folhas com L variando de 0 – 21 cm

** Para folhas com L > 21 cm.

O desempenho dos modelos foi avaliado através da análise de correlação entre os resultados da AF medida e calculada, mediante o coeficiente de correlação de Pearson – r, qual seja:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

onde: x é a AF medida em laboratório; \bar{x} é a AF média medida; y é a AF calculada; \bar{y} é a AF média calculada.

Também foi calculado o RMSE – *Root Mean Square Error*, conforme a equação seguinte:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (AF_C - AF_O)^2} \quad (1)$$

onde: AF_C é a área foliar calculada por cada um dos modelos utilizados e AF_O é a área foliar observada em laboratório.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Todos os modelos propiciaram resultados da AF do girassol que apresentaram fortes correlações com os valores observados, cujos coeficientes de Pearson – r de todos os modelos foram superiores a 0,90, conforme apresentado na Tabela 2. Entretanto, os modelos identificados por M1 (Trehan et al., 1975), M6 (Pereyra et al., 1982), M7 (Karanja, 1990) e M11 (Rouphael et al., 2007) apresentaram os melhores desempenhos entre todos estudados, com r igual 0,98 e RMSE inferiores a 40 cm². Observa-se que dos quatro modelos que apresentaram as melhores performances, dois, M1 (Trehan et al., 1975) e M7 (Karanja, 1990) apresentam bastantes similaridades entre si, ou seja, são constituídos de relações lineares e requerem as medidas de ambas as dimensões lineares das folhas, qual sejam, o comprimento – C e a largura – L como variáveis de entrada. Por outro lado, os modelos M6 (Pereyra et al., 1982) e M11 (Rouphael et al., 2007) também são bastante similares entre si em suas respectivas estruturas, pois utilizam apenas as medidas da largura das folhas como variável de entrada, e são constituídos de relações quadráticas.

Tabela 2: Coeficiente de Pearson – r e Root Mean Square Error – RMSE apresentado por cada modelo em relação aos dados observados.

MODELO AVALIADO	r	RMSE
M1	0,98	33,9
M2	0,92	55,0
M3	0,97	47,7
M4	0,98	55,0
M5	0,98	53,0
M6	0,98	38,4
M7	0,98	37,4
M8	0,92	131,4
M9	0,97	55,0
M10	0,98	44,8
M11	0,98	35,8

Os bons desempenhos alcançados pelos modelos M1 e M7 corroboram com Schneiter (1978) que enaltece os modelos que requerem as medições de L e C como os mais precisos e que oferecem maior confiabilidade. Os demais modelos que apresentam estruturas similares ao M1 e ao M7, qual sejam, o M4 (Schneiter, 1978), M5 (Rawson e Constable, 1980) e M10 (Bange et al., 2000), também propiciaram estimativas da AF com alto grau de correlação. A eficácia desses modelos que requerem medições de L e C também foi comprovada na determinação da AF de outras culturas a exemplo do algodão (Ashley et al., 1963), pinhão manso (Severino et al., 2007), maniçoba (Pinto et al., 2007) e feijão caupi (Lima et al., 2008). Dos modelos que requerem apenas as medições de uma das dimensões lineares das folhas como variável de entrada, os que apresentaram os melhores resultados foram os que são constituídos de relações quadráticas, ou seja, o M6 (Pereyra et al., 1982) e o M11 (Rouphael et al., 2007), conforme já comentados anteriormente. Tsialtas e Maslaris (2008) também obtiveram resultados que apresentaram alto grau de confiabilidade utilizando o modelo M11 enquanto que Rouphael et al. (2007) exalta sua acurácia e o recomenda como uma opção viável e confiável para determinação da AF em substituição a instrumentos caros e sofisticados a exemplo dos planímetros e câmeras digitais. Os modelos que apresentaram as mais modestas correlações, embora que superiores a 0,90 que não podem ser consideradas ruins, foram o M2 e o M8. Curiosamente, os referidos modelos apresentam bastantes semelhanças, uma vez que utilizam apenas as medidas do comprimento das folhas como variável de entrada e são constituídos de relações lineares. No entanto, Tsialtas e Maslaris (2008) constataram que a melhor relação matemática entre a AF e o comprimento das folhas do girassol foi uma função potencial, cujo coeficiente de determinação encontrado foi, $r^2 = 0,99$. Resultados similares foram encontrados para outras culturas (Severino et al., 2007; Lima et al., 2008). Estes resultados podem indicar que a função linear não seja a mais adequada entre AF-L e AF-C.

CONCLUSÕES: Todos os modelos apresentaram resultados satisfatórios com alto grau de correlação, $r > 0,90$; Os modelos lineares e que requerem as medidas de ambas as dimensões lineares das folhas, ou seja, o comprimento da nervura principal e a largura como variáveis de entrada e os modelos quadráticos que utilizam as medidas de apenas uma dimensão, foram os que apresentaram maiores precisões e são, portanto, os mais confiáveis. Se a opção for feita

pelos modelos que usam apenas as medidas de uma das dimensões lineares das folhas como variável de entrada, a mesma deve recair sobre os modelos quadráticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHLEY, D. A.; DOSS, B. D. BENNET, O. L. A method of determining leaf area in cotton. **Agronomy Journal**, v.01, n.55, p.584-585, 1963.
- BANGE, M. P.; HAMMER, G. L.; MILROY, S. P.; RICKERT, K. Improving estimates of individual leaf area of sunflower. **Agronomy Journal**, v.92, p.761-765, Madson, 2000.
- GOUDRIAAN, J., VAN LAAR, H.H. **Modelling Potential Crop Growth Processes**. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1994.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm>. Data do acesso: 27/01/2009.
- KARANJA, D.R. The effect of nitrogen on growth and development of three cultivars of sunflower. Undergraduate dissertation. The Univ. Queensland, Lawes, Australia, 1990.
- LEITE, R. M. V. B. C.; CASTRO, C.; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, F. A.; CARVALHO, C. G. P.; OLIVEIRA, A. C. B. Indicações para o cultivo de girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Roraima. Comunicado Técnico 78. Embrapa Soja. Londrina, 2007, 4p.
- 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, n.01, p.120-127, 2008.
- PEREYRA, V. R.; FARIZO, C.; CARDINALI, F. Estimation of leaf area on sunflower plants. In. Proc. 10th Int. Sunflower Conf., Surfers Paradise, Australia, 14-18 Mar. Sunflower Assoc., Paris., 1982, p. 21-23.
- 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 Agrônômica**, v.38, n.4, p.391-395, 2007.
- RAWSON, H. M.; COSTABLE, G. A. Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environments. I. Photosynthesis and transpiration of leaves, stems and heads. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.07, p.555-576, 1980.
- ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; FANASCA, S.; KARAM, F. Leaf area estimation of sunflower leaves from simple linear measurements. **Photosynthetica**, v.45, n.2, p.306-308, Praga, 2007.
- SCHNEITER, A. A. Non-destructive leaf area estimation in sunflower. **Agronomy Journal**, v.70, p.141-142, Madson, 1978.
- SCHWARZ, D.; KLÄRING, H.P. Allometry to estimate leaf area of tomato. **Journal of Plant Nutrition**, v.24 p.1291-1309, 2001.
- SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. A simple method for measurement of *jatropha curcas* leaf area. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.11, n.01, p.9-14, 2007.
- STEWART, D. W., DWYER, L. M.: Mathematical characterization of leaf shape and area in maize hybrids. **Crop Science**, v.39, p.422-427, 1999.
- TREHAN, K.B.; CHAND, H.; MEHTA, S. K. Measurement of leaf area estimation in sunflower (*Helianthus annuus L.*). **Science Culture**, v.41, p.238-239, 1975.
- TSIALTAS, J. T.; MASLARIS, N. Evaluation of a leaf area prediction model proposed for sunflower. **Photosynthetica**, n.46, n.02, p.294-297, Praga, 2008.