



ALGORITMO DE DETERMINAÇÃO DE ÁREA FOLIAR DO TOMATE

Carlos Eduardo Bento Barbosa*¹, Francisco Ramos de Melo¹, Sueli Martins de Freitas Alves¹, Ivandro José de Freitas Rocha¹, Radson Murilo Veloso Silva Júnior¹, Bryan Augusto Ferreira², Felipe Alves Gomes¹, Rodrigo Starneck Lopes de Araújo¹.

¹UEG – Universidade Estadual de Goiás.

²FAMA – Faculdade Metropolitana de Anápolis.

Resumo - Determinar a área foliar de uma planta é um trabalho que exige tempo e muito esforço para se obter dados confiáveis. Portanto se torna imprescindível o desenvolvimento de técnicas para obtenção de dados com o auxílio da tecnologia. Sendo assim a presente pesquisa teve o objetivo de desenvolver um algoritmo que por meio do processamento digital de imagens, consiga determinar a área foliar do tomate (*Solanum lycopersicum*). As folhas de tomate foram fotografadas, processadas pelo programa proposto, e depois comparadas as medições obtidas por meio de um medidor foliar modelo LICOR (CI-202). Quando colocado a prova o programa mostrou um índice de confiança mediano, determinado pelo índice de concordância de Willmot.

Palavras-Chave – algoritmo; cálculo da área foliar; índice de concordância de Willmot; processamento digital de imagens; *Solanum lycopersicum*.

DETERMINATION ALGORITHM OF TOMATO LEAF AREA

Abstract – Determining the leaf-area of a plant is a work that demands time and several efforts to obtain reliable data. Therefore, it is indispensable the development of techniques to obtain data with help of technology. In the present work we developed an algorithm that through digital image processing, can determine the tomato leaf area (*Solanum lycopersicum*). The tomato leaves were photographed, processed by the proposed software and then compared to the obtained measurements throughout a leaf meter model LICOR (CI-202). When tested, the program showed a median confidence index, determined by the Willmont index of agreement.

Keywords - algorithm; digital image processing; leaf area calculation; Willmot's concordance index; *Solanum lycopersicum*.

*carloskun.ce@gmail.com

I. INTRODUÇÃO

Membro da família Solanaceae o tomate (*Solanum lycopersicum*) é uma das hortaliças mais produzida no Brasil, tendo finalidades comerciais e industriais, o que reflete positivamente na economia do país [1]. A produção de tomate em Goiás é de aproximadamente 82 t ha⁻¹ deixando o estado em 1° no ranking de produção nacional [2].

Existem vários fatores bióticos e abióticos que influenciam na produção de tomate, dentre eles, solo, disponibilidade hídrica, temperatura, umidade, radiação solar, entre outros. [3][4]. A principal estrutura vegetal responsável pela captação de radiação solar é a folha, sendo assim, torna-se imprescindível o conhecimento da área foliar.

Existem várias formas de se determinar a área foliar, por modelos matemáticos, equipamentos eletrônicos e por imagens digitais [4]. A presente pesquisa visa propor um algoritmo que consiga calcular a área foliar da folha de tomate, utilizando técnicas de processamento digital de imagens.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás (UEG), no campus de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, situada no município de Anápolis – GO com altitude de 1040 m, longitude 48°42'23" O e latitude 16°22'44" S [5].

As amostras de folhas do tomate foram colhidas numa propriedade rural, em que se teve autorização do proprietário para coleta, na cidade de Vila Propício, em Goiás de Latitude 15° 27' 25" S, Longitude 48° 53' 19" W e Altitude: 744m [5].

Inicialmente foram coletadas 10 folhas de pontos aleatórios da lavoura, Figura 1, que foram medidas por meio de um medidor foliar modelo LICOR (CI-202) [6].

O método utilizado para realização do processamento da imagem, foi adaptado do modelo de Vieira [7] consiste em etapas:

Figura 1: Haste do tomateiro e a folha usada para calcular a área foliar.



A. Captação de Imagens

As imagens digitais foram obtidas por meio de uma câmera digital de um aparelho celular com 16MP (Megapixels) e catalogadas para serem analisadas. O material biológico era colocado sobre uma folha de papel branco A4 de tal forma em que todos os seus folíolos ficassem dispostos.

Todas as fotos foram adquiridas nas mesmas condições de luz (sem sombra), de distância do aparelho até a folha, que deve levar em si um objeto de área conhecida, nesse caso uma régua graduada, Figura 2.

Figura 2: Imagem pré-processada, com as bordas indesejadas eliminadas.



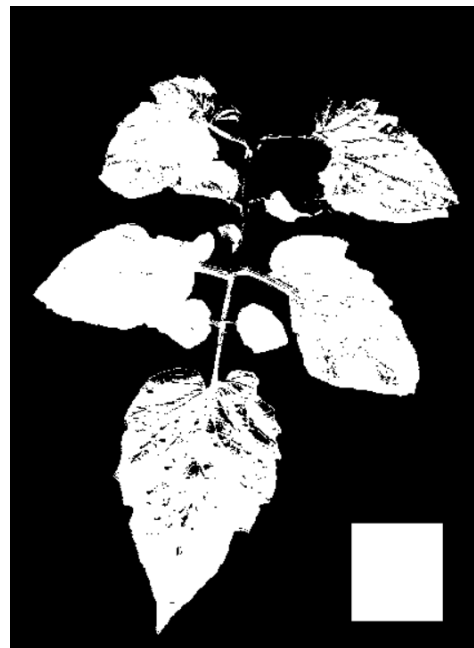
B. Pré-processamento

A imagem foi cortada para que esta fique nas mesmas dimensões da folha A4, eliminado assim, as bordas indesejadas.

C. Segmentação da imagem

Segmentar uma imagem, neste contexto, consiste em separar o objeto (amostra foliar) do fundo da imagem [8], ou seja, transformar a representação de cores da desta, de sRGB (Red, Green e Blue) para imagem binária (preto e branco), [8].
Figura 3

Figura 3: Imagem transformado para binária.



D. Contagem dos pixels

Após segmentar a imagem o programa executado, consegue contar a quantidade de pixels, separando o preto de branco, uma vez que uma imagem binária só possui dois tons de cores. [7]

E. Conversão de pixels para cm^2

O programa utiliza a área do objeto (área conhecida) para interpolar a área foliar em escala, transformando assim de número de pixels, para a unidade de centímetros quadrados (cm^2). Como mostrado na Figura 4.

Figura 4: Imagem com as bordas delimitadas para o cálculo de AF.



Para verificar a confiabilidade, os dados obtidos com o programa foram comparados aos dados obtidos por meio do método padrão foi feita empregando-se análise de correlação, índice de concordância de Willmott (d) (Eq.1) [9], erro médio absoluto (EMA) (Eq.2), erro médio (EM) (Eq.3) e índice de empenho (c) (Eq.4) [10], conforme as seguintes equações:

$$d = 1 - \frac{\sum(y' - y_{obs})^2}{\sum(|y' - \bar{y}_{obs}| + |y_{obs} - \bar{y}_{obs}|)^2} \quad (1)$$

$$EMA = \frac{1}{n} \sum |y' - y_{obs}| \quad (2)$$

$$EM = \frac{1}{n} \sum (y' - y_{obs}) \quad (3)$$

$$c = r \cdot d \quad (4)$$

Onde:

- y' - Valor da variável estimada.
- y_{obs} - Valor da variável observada.
- \bar{y}_{obs} - Valor médio da variável observada.
- r - Coeficiente de correlação $\sqrt{R^2}$

III. COMPOSIÇÃO DO ARTIGO

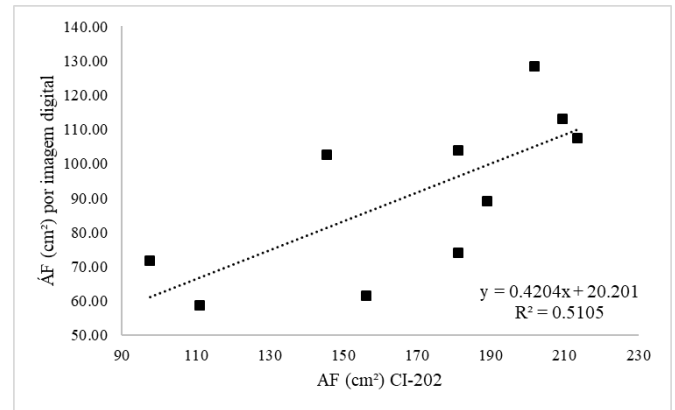
O modelo proposto conseguiu estimar AF nas fotografias digitais como se pode observar na Tabela I.

Tabela 1: Medidas de área foliar obtidas pelo mediador foliar modelo LICOR (CI-202) e por meio do processamento digital de imagem do algoritmo proposto.

Imagem	AF CI-202 (cm ²)	AF Imagem Digital (cm ²)
1	209.37	113.16
2	111.14	58.84
3	97.59	71.70
4	181.21	103.95
5	156.21	61.52
6	145.55	102.69
7	188.85	89.02
8	181.22	74.11
9	213.34	107.51
10	201.73	128.32
Média	168.621	101.96

Para validar o programa utilizou-se a técnica estatística do índice de concordância de Willmott, que procura correlacionar os dados observados no medidor a laser, com os dados determinados por meio do programa. Como mostrado no gráfico de correlação na Figura 5.

Figura 5: Correlação dos dados encontrados com CI-202 no eixo das abscissas, e dados estimados pelo algoritmo nas ordenadas.



Na Tabela 2 são apresentados os valores do índice d, de erro absoluto médio (EAM), erro médio (EM), do coeficiente de correlação (r) e do índice de empenho (c), dos métodos avaliados.

Tabela 2: Indicadores estatísticos índice d, de erro absoluto médio (EAM), erro médio (EM), do coeficiente de correlação (r) e do índice de empenho (c).

d	EAM	EM	r	c
0.89	77.54	-77.54	0.71	0.63

Quanto menor o valor de EAM, maior é a exatidão da estimativa da área foliar. Já o valor de c mostra que o modelo teve um desempenho mediano, de acordo com Camargo e Sentelhas [11], valores de c entre 0,61 e 0,65 conseguem mostrar uma confiança satisfatória.

IV. CONCLUSÕES

As técnicas e dados apresentados neste trabalho indicam a que o emprego de técnicas de processamento digital de imagens se mostra viável na tarefa de automação de cálculo da área foliar, podendo ser aplicada a outras tarefas equivalentes.

O sistema proposto conseguiu segmentar a imagem, transformando o formato de representação de sRGB para imagem binária e efetuar o cálculo da Área Foliar.

A comparação da medida real com os dados obtidos pela técnica proposta se mostrou viável no cálculo da Área foliar.

Por meio da técnica de Willmott conseguiu-se validar o sistema como mediano.

Sugere-se estudos futuros para o aprimoramento do algoritmo, além de diferentes métodos para a aquisição das imagens.

Diante do exposto, é possível observar que o emprego de técnicas de Processamento Digital de Imagens se mostra viável e promissor como elemento facilitador nos processos de automação da quantificação de problemas necessários nos processos de avaliação e decisão na área de Agricultura de Precisão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e FAPEG pelo suporte e financiamento.

REFERÊNCIAS

- [1] CAMARGO, F. P. DE; ALVES, H. S.; CAMARGO FILHO, W. P. DE; VILELA, N. J. Cadeia produtiva de tomate industrial no Brasil: resenha da década de 1990, produção regional e perspectivas. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 36, n. 11, p. 7-20, nov. 2006.
- [2] IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2018. Acedido em 21 de janeiro de 2018, em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>.
- [3] JULLIEN, A.; MATHIEU, A.; ALLIRAND, J. M.; PINET, A.; REFFYE, P. de; COURNE, P. H.; NEY, B. Characterization of the interactions between architecture and source–sink relationships in winter oilseed rape (*Brassica napus*) using the GreenLab model. **Annals of Botany**, London, v. 107, n. 5, p. 765-779, 2011. Acedido em 12 de maio de 2016.
- [4] KRÜGER, C. A. M. B.; MEDEIROS, S. L. P.; SILVA, J. A. G. da; DALMAGO, G. A.; VALENTINI, A. P. F.; WAGNER, J. F. Rapeseed population arrangement defined by adaptability and stability parameters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 36-41, 2016. Acedido em 12 de maio de 2016.
- [5] SEPLAN - SECRETÁRIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DE GOIÁS. Coordenadas geográficas dos municípios. 2012. Acessado em 22 de junho de 2018, em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/>>
- [6] CID BIO-SCIENCE, Theory of operation of CI-202 Portable Laser Leaf Area Meter, Aberdeen 2018.
- [7] VIEIRA, D. R.. **Cálculo da área de folhas com MATLAB**. Acessado em 08 de junho de 2018, em: <<https://www.danilorvieira.com/secoes/artigos/4/>>
- [8] R. C. G.; R. E. WOODS, **Digital Image Processing**, 3rd ed. Prentice Hall, 2008.
- [9] WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.
- [10] ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C. D.; COAKLEY, C. W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 39, n. 1, p. 47-54, 1996.
- [11] CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n. 1, p. 87–97, 1997