

Estimativa de área foliar de soja usando imagens digitais e dimensões foliares

Marcos Adami², Fábio Alcovér Hastenreiter¹, Danilton, Luiz Flumignan¹, Rogério Teixeira de Faria¹

¹Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR
Caixa Postal 481- 86047-902 – Londrina, PR, Brasil
rtfaria@iapar.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
adami@dsr.inpe.br

ABSTRACT. Measurements of leaf area index are required in most of agronomic studies involving plant growth. Two direct methods for estimation of soybean leaf area (leaf dimensions and digital images captured by ordinary digital cameras) were evaluated, in two distinct conditions (entire leaf and damaged leaf). The estimations were compared with measurements taken by a Li-Cor leaf area meter (model LI 3100), used as control. Both methods gave good estimations for entire leaf ($R^2 > 0,983$). However, the evaluations of leaves with holes showed best performance of digital image method as compared with leaf dimensions method. As a conclusion, the digital image method using ordinary cameras can replace the reference method (LI 3100) with advantages of cost and portability for use in the field.

Palavras-chave: índice de área foliar, fotografia digital, soja.

Key-words: leaf area index, digital photography, soybean.

1. Introdução

A folha é um importante órgão das plantas, sendo o principal envolvido no processo fotossintético e na evapotranspiração, responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente (Pereira et al., 1997).

O índice de área foliar (IAF) é a relação funcional existente entre a área foliar (AF) e a área do terreno ocupada pela cultura (Favarin et al., 2002). O processo fotossintético depende da interceptação da luz e sua conversão em energia química, portanto, o IAF pode ser considerado um parâmetro indicativo de produtividade (Favarin et al., 2002) e é uma medida necessária para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos envolvendo crescimento vegetal (Blanco & Folegatti, 2003). O conhecimento do IAF também pode ser útil na avaliação de várias práticas culturais como densidade de plantio, adubação, irrigação, poda e aplicação de defensivos (Favarin Et Al., 2002; Tavares-Júnior et al., 2002).

A determinação da AF pode ser realizada por métodos diretos ou indiretos e destrutivos ou não destrutivos. Os métodos indiretos são baseados na correlação conhecida entre a variável medida e a AF. Coelho Filho et al. (2005) estudaram a correlação entre variáveis biométricas e área foliar em plantas de lima ácida “tahiti” e indicaram a viabilidade da utilização de diâmetro de caule e ramos para estimativa de AF de forma rápida, simples e não destrutiva, aplicável a campo. Os métodos diretos utilizam medidas realizadas diretamente nas folhas. Barros et al. (1973) determinou valores de correlação entre a área foliar em cafeeiro e o produto entre comprimento e largura do limbo foliar. Os métodos destrutivos exigem a retirada da folha ou outras estruturas, o que muitas vezes não é possível devido à limitação do número de plantas na parcela experimental. Nos métodos não destrutivos as medidas são

tomadas na planta, sem necessidade de remoção de estruturas, preservando sua integridade e permitindo a continuidade das medidas na mesma planta.

Existem na literatura vários métodos de determinação de AF, entretanto, na prática são utilizados principalmente dois: o método de dimensões foliares e o método usando o aparelho LI-COR. O aparelho LI-COR, normalmente utilizado como referência, estima a área pelo princípio de células de grade de área conhecida (Li-cor 3100, 1996), entretanto possui custo elevado e é destrutivo, uma vez que as folhas têm de ser coletadas para a análise em laboratório onde o aparelho é instalado. O método dimensões foliares (CxL) baseia-se na relação entre a área foliar real e parâmetros dimensionais do limbo foliar - comprimento (C) e largura (L) máximos. O método CxL é amplamente empregado no campo devido a sua facilidade de aplicação e possibilidade de aplicação não destrutiva.

Atualmente, câmeras digitais de alta definição são disponíveis no mercado a um custo acessível. Esses equipamentos são promissores para trabalho em campo de estimativa de área foliar por serem portáteis, mais baratos que o LI COR e talvez mais precisos que o método de dimensões foliares, principalmente em situações nas quais os folíolos se apresentam danificados. Nesse método, imagens digitais calculam a área com base na escala e na resolução (*dots per inch - dpi*) em que foi obtida a fotografia, por meio de um software que estima a área de cada elemento que compõe a imagem (*pixel*), divide a imagem em duas categorias (folha e não folha) e integra os elementos que pertencem à mesma categoria.

O objetivo deste trabalho foi avaliar dois métodos diretos de medida de AF: por meio de dimensões foliares (comprimento e largura máximos) e por imagens digitais capturadas por máquina fotográfica digital, em duas situações distintas: folíolos íntegros e folíolos cortados (simulando danos por insetos ou granizo) visando determinar as reais vantagens do método de imagens digitais sobre os demais métodos utilizados.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina-PR, utilizando uma amostra principal, composta por 60 folhas de soja da cultivar Coodetec 205, coletadas ao acaso em diferentes posições do dossel de plantas tomadas ao acaso de uma mesma área experimental.

Foram avaliados dois métodos de estimativa de área foliar: (i) imagem digital e (ii) dimensões foliares, em duas situações distintas: (a) folhas íntegras e (b) folhas danificadas. Os danos nas folhas foram produzidos por cortes aleatórios em cada folíolo da amostra, a fim de simular uma condição onde as folhas tivessem sofrido algum processo, natural ou artificial, de redução da área foliar (com corte) simulando danos por insetos ou granizo.

As medidas feitas pelo integrador de área foliar foram realizada em um aparelho da marca Li-cor, modelo LI 3100. As amostras foram coletadas e levadas ao laboratório, e, em seguida, numeradas com etiquetas coladas no centro dos folíolos. Os folíolos foram passados pelo aparelho, um a um, em ordem numérica, e os valores de área foliar retornados foram anotados em uma tabela. Eventualmente foram realizados ajustes e limpeza na superfície do aparelho que entrou em contato com as amostras. O mesmo procedimento foi usado nas medidas com folíolos danificados.

O método de imagens digitais consistiu-se da captura de imagens de folíolos abertos contra um fundo de cor maciça, por meio de uma câmera fotográfica digital doméstica e no processamento destas imagens pelo software SPRING. As imagens utilizadas foram geradas com definição de 300 dpi e com escala variável. Neste método calculou-se a área com base na escala e na resolução em pontos por polegada (*dots per inch - dpi*), na qual foi obtida a fotografia. Estes dados foram usados no SPRING para estimar a área de cada elemento que compõe a imagem (*pixel*) e integrar os elementos pertencentes à mesma categoria. A **Figura 1**

ilustra uma fotografia utilizada para o cálculo da área foliar. Os eixos (X e Y), graduados em centímetros (cm), foram utilizados para determinar o fator de correção da escala da foto.

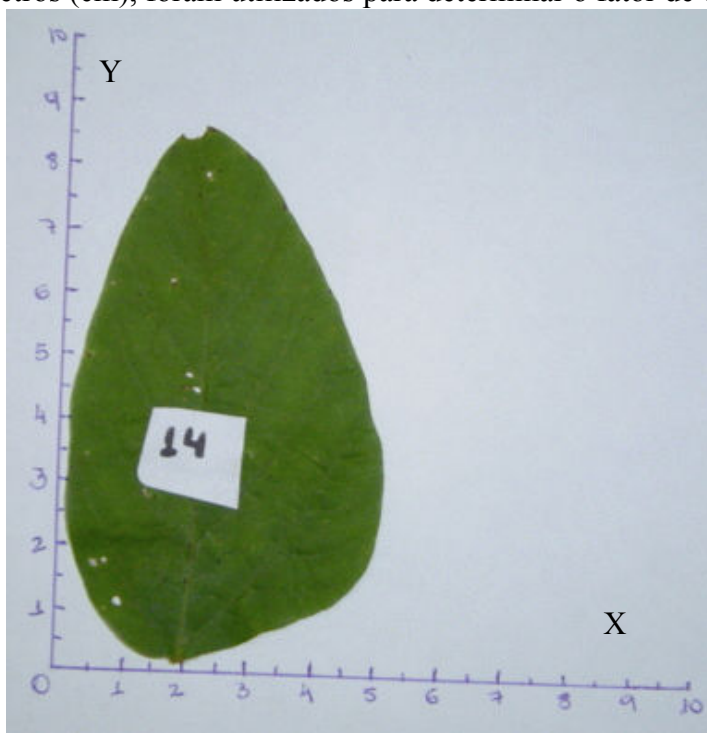


Figura 1. Exemplo de imagem utilizada para estimativa de área foliar pelo método de imagens digitais, na qual observa-se a escala de valores (eixos X e Y) e a etiqueta de numeração utilizada.

O cálculo da resolução inicial, sem o fator de correção, para os valores X e Y foi calculado pela seguinte equação:

$$res_{ini} = \frac{2,54cm}{dpi} \quad (1)$$

em que res_{ini} é a resolução inicial do eixo i (cm) e dpi é a definição na qual foi obtida a fotografia, em dpi.

Após a estimativa da resolução inicial, as imagens foram importadas para o SPRING e, devido ao ângulo e distância variáveis em que foram obtidas as fotografias, corrigiu-se a escala na análise de cada foto da seguinte forma:

$$res_{fin} = res_{ini} \left(\frac{Vo_{ei}}{Vm_{ei}} \right) \quad (2)$$

na qual res_{fin} é a resolução final do eixo i (cm), res_{ini} é a resolução inicial do eixo i (cm), Vo_{ei} é o valor original do eixo i e Vm_{ei} é o valor medido do eixo i.

Aplicando-se a equação de correção de escala, estimaram-se as dimensões do pixel em X e Y. O próximo passo foi a classificação automática das imagens, realizada pelo software, que possibilitou o dimensionamento da área de cada folha, dada pela seguinte equação:

$$AF = \sum_{i=1}^n res_{exi} \times res_{eyi} \quad (3)$$

sendo AF a área foliar estimada (cm²), i o índice utilizado para representar os elementos classificados como folha, $i=1, \dots, n$, res_{exi} a resolução final do *pixel*, no eixo X, na posição i e res_{eyi} a resolução final do *pixel*, no eixo Y, na posição i.

No método de dimensões foliares, inicialmente determinou-se os coeficientes de regressão entre AF e o produto CxL para a variedade utilizada. Utilizou-se outra amostra de 60 folíolos, coletada seguindo a mesma metodologia empregada na amostra principal. O produto CxL dos 60 folíolos e a área foliar medida pelo integrador de área foliar foram correlacionados por regressão linear, resultando na equação:

$$AF_{df} = 0,6765 \times (C \times L) + 2,6706 \quad (4)$$

em que AF_{df} é a área foliar estimada pelo método de dimensões foliares, C é o comprimento máximo da folha e L a largura máxima da folha.

A estimativa da área foliar pelo método de dimensões foliares foi realizada medindo-se o C e L dos 60 folíolos da amostra principal e aplicando estes valores na equação 4.

Os métodos de dimensões foliares e imagem digital foram comparados, por análise de regressão ($Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$), com as medidas de área foliar obtida pelo método integrador de área foliar. Para a comparação dos métodos foram estabelecidos os limites de confiança para verificar se coeficiente angular do modelo de regressão (β_1) poderia ser igual a 1 e o coeficiente linear (β_0) pode ser igual a 0 (hipóteses nula), o que corresponde a equivalência entre as estimativas. O ajuste das estimativas foram avaliados pelos coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão e o índice de precisão da estimativa (D) (Willmott, 1981).

3. Resultados e discussão

O método de dimensões foliares superestimou o valor de AF nas duas situações avaliadas, ligeiramente para limbos íntegros e expressivamente para limbos cortados (**Figura 2**). Nas estimativas realizadas com limbos cortados esta tendência era esperada, uma vez que o método baseia nas dimensões do limbo e ignora sua integridade, enquanto o método tomado como referência mede a superfície da folha. Nas estimativas realizadas com limbos íntegros pelo método de dimensões foliares a superestimativa, que não era esperada, pode ter ocorrido em consequência da utilização de plantas semeadas em épocas diferentes para a calibração e para o experimento (**Figura 2 e Tabela 1**). Em seu trabalho para estimar a área foliar do algodoeiro por meio de dimensões, Monteiro et al. (2005) também observaram a ineficiência deste método quando aplicado em folhas com o limbo danificado.

O método de imagens digitais apresentou boa estimativa da área foliar, como pode ser observado pela proximidade dos pontos à reta 1:1, na **Figura 2**, e pelos limites estimados para o coeficiente β_1 , com significância de 5%, apresentados na **Tabela 1**. Para todos os métodos o intercepto tem probabilidade de ser igual à zero, o que indica que as estimativas não sofrem ação do coeficiente linear para estimar a AF (**Tabela 1**). Esses resultados concordam com os r obtidos por Tavares-Júnior et al. (2002), em seu trabalho que avaliou um método para estimativa de AF, para café, por meio de imagens digitais obtidas por escaner de mesa e processadas pelo software SIARCS 3.0.

A dispersão das estimativas geradas pelo método de dimensões foliares foi maior que a dispersão das estimativas geradas pelo método de imagem digital (**Figura 2 e Tabela 2**). O método de imagens digitais apresentou RMS menor que a metade do apresentado pelo método de dimensões foliares nos testes com limbos intactos e três vezes menor nos testes com limbos cortados (**Tabela 2**).

O método de imagens digitais apresentou coeficientes de determinação muito próximos a um ($R^2 > 0,997$) nas duas situações testadas, enquanto que o método Dimensões foliares foi também alto, mas ligeiramente superior ($R^2 > 0,97$). Monteiro et al. (2005) obtiveram valores inferiores (0,810 a 0,957) para estimativa de AF de algodoeiro pelo método C x L. O'Neal et al. (2002) encontraram coeficientes de determinação próximos de 1 para estimativas realizadas por método de imagens digitais geradas por escaner de mesa e processadas pelo

software SIARCS 3.0. Resultados próximos a estes foram obtidos por Tavares-Júnior et al. (2002).

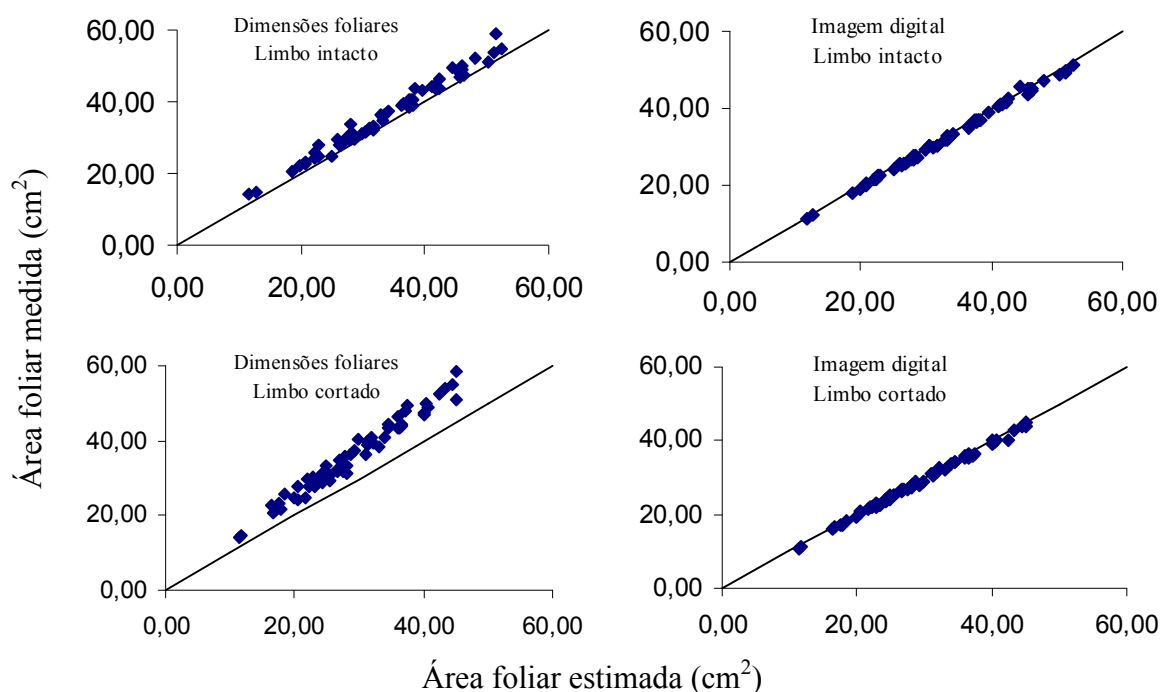


Figura 2. Relação do entre a área foliar soja com os limbos intactos e cortados, estimada pelos métodos de dimensões foliares e imagem digital e a área foliar medida.

Tabela 1. Valores dos limites superior e inferior do intercepto (β_0) e do coeficiente angular (β_1) estimados para os métodos de dimensões foliares e imagens digitais realizados em limbos íntegros e cortados.

| Método | β_0 | | β_1 | |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 95% inferiores | 95% superiores | 95% inferiores | 95% superiores |
| Dimensões foliares | -1,980 | 0,469 | 0,919 | 0,985 |
| Imagem digital Sem corte | -0,039 | 0,908 | 0,999 | 1,027 |
| Dimensões foliares | -1,673 | 1,040 | 0,780 | 0,852 |
| Imagem digital Com corte | -0,314 | 0,570 | 0,996 | 1,025 |

Tabela 2. Valores de erro padrão, coeficiente de determinação (R^2) e índice de precisão (D), obtido pelo teste de Willmott (1981) para os métodos de dimensões foliares e imagens digitais realizados em limbos íntegros e cortados.

| Método | | Erro Padrão | | |
|--------------------|-----------|--------------------|-------|-------|
| | | (cm ²) | R^2 | D |
| Dimensões foliares | Sem corte | 1,281 | 0,983 | 0,996 |
| Imagem digital | | 0,515 | 0,997 | 0,999 |
| Dimensões foliares | Com corte | 1,419 | 0,972 | 0,993 |
| Imagem digital | | 0,474 | 0,997 | 0,999 |

O método de imagens digitais apresentou valores do índice de Willmott (1981) muito próximos de um em ambas as condições de limbo, indicando alta precisão da estimativa. Já o método de dimensões foliares apresentou resultados ligeiramente inferiores, mas estatisticamente insignificantes.

4. Conclusões

- O método de dimensões foliares é menos preciso na estimativa de área foliar para folhas danificadas;
- O método de imagem digital apresenta boas estimativas de AF tanto para folhas com limbos íntegros quanto para danificados;
- O método de imagens digitais apresenta precisão similar ao aparelho integrador de área foliar LI-COR, mas tem vantagens de menor custo e portabilidade para uso no campo.

5. Referências

Barros, R.S.; Maestri, M.; Vieira, M.; Braga-Filho, L.J. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arábica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v.20, n.107, p.44-52, 1973.

Blanco, F.F.; Folegatti, M.V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.4, p.666-669, outubro/dezembro 2003.

Camara, G.; Souza R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling **Computers & Graphics** v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

Coelho Filho, M.A.; Angelocci, L.R.; Vasconcelos, M.R.B.; Coelho, E.F. Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida 'tahiti' usando métodos não-destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v.27, n1, p.163-167, abril 2005.

Favarin, J.L.; Dourado-Neto, D.; Y García, A.G.; Villa Nova, N.A.; Favarin, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.769-773, jun. 2002.

LI-COR. **LI 3100 area meter instruction manual**. Lincoln: LI-COR, 1996. 34p.

Monteiro, J.E.B.A.; Sentelhas, P.C.; Chiavegato, E.J.; Guiselini, C.; Santiago, A.V.; Prela, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n.1, p. 15-24, 2005.

O'Neal, M.E.; Landis, D.A.; ISAACS, R. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis. **Journal of Economic Entomology**, v.95, n.6, p.1190-1194, 2002.

Pereira, A.R.; Villa Nova, N.A.; Sedyama, R. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ/USP, 1997. 70P.

Queiroga, J.L.; Romano, E.D.U.; Souza, J.R.P.; Miglioranza, E. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 64-68, março 2003.

Souza, E.F.; Araújo, M.C.; Posse, R.P.; Detmann, E.; Bernardo, S.; Berbert, P.A.; Santos, P.A. Estimating the total leaf area of the green dwarf coconut tree (*Cocos nucifera* L.). **Sci. Agric.** Piracicaba, Brazil, v.62, n.6, p.597-600, Nov/Dec. 2005.

Tavares-Júnior, J.E.; Favarin, J.L.; Dourado-Neto, D.; Maia, A.H.N.; Fazouli, L.C.; Bernardes, M.S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.2, p.199-203, 2002.

Willmott, C. F. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.