

USO DO *SOFTWARE* IMAGEJ NA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR PARA A CULTURA DO FEIJÃO

THOMAS NEWTON MARTIN, JOSÉ ABRAMO MARCHESE, ANA KARENINA FERNANDES DE SOUSA, GILBERTO LUIZ CURTI, HOILSON FOGOLARI e VINÍCIUS DOS SANTOS CUNHA

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo comparar dois métodos de estimativa da área foliar: integrador de área foliar e software *ImageJ*, na cultura do feijão. O experimento foi conduzido em 2008, em estufa, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, PR, Brasil. Estudou-se áreas foliares de dois genótipos de feijão (preto CHP 99-54 e carioca SCS 202 Guará) a cada sete dias, totalizando cinco avaliações. Em cada avaliação foram escolhidas aleatoriamente quatro plantas/genótipo. As folhas foram retiradas, identificadas e colocadas sobre uma folha de papel A4 branca, com uma marcação negra de área conhecida (45cm²), e posteriormente, fotografadas e avaliadas por meio do integrador de área foliar. A partir dos valores obtidos em cada

método, estimaram-se estatísticas de posição de dispersão, testaram-se a normalidade e a homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett, compararam-se as médias pelo teste *t*, e aplicou-se o índice de concordância de Willmott para avaliar matematicamente os valores estimados e observados. Verificou-se que, para a maioria das avaliações, os valores de área foliar estimados para ambos os métodos possuem distribuição normal, as médias e as variâncias não diferem entre si, e os valores de índice de concordância de Willmott foram elevados para os genótipos de feijão estudados. Dessa forma, o método para estimativa da área foliar que utiliza o software *ImageJ* pode ser usado em substituição ao métodos do integrador de área foliar.

 produção vegetal está intimamente ligada a alguns fatores como, por exemplo, o índice de área foliar e a área foliar da planta, os quais são importantes para a construção da produtividade. O índice de área foliar (IAF) é definido como sendo a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo

(Watson, 1947). A partir do conhecimento dos valores de índice de área foliar em que as plantas apresentam as maiores produções, é possível determinar elementos fitotécnicos tais como: época de semeadura, aplicações de defensivos, espaçamentos, época de adubação (Favarin *et al.*, 2002), controle de plantas daninhas, competição entre plantas daninhas e a cultura, uso de

água pela cultura e erosão do solo, dentre outros (Wilhelm *et al.*, 2000). Estes elementos estão diretamente envolvidos com aspectos da análise de crescimento, tais como a fotossíntese, ataque de pragas e doenças, taxa transpiratória ou taxa de produção associada à capacidade de crescimento, respostas fisiológicas a fatores como condução de plantas, podas, porta-enxer-

PALAVRAS CHAVE / Imagem Digital / Integrador de Área Foliar / Método Não-Destrutivo / *Phaseolus vulgaris* L. / Software ImageJ /

Recebido: 06/03/2013. Modificado: 23/09/2013. Aceito: 29/11/2013.

Thomas Newton Martin. Engenheiro Agrônomo e Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil. Professor, UFSM, Brasil. Endereço: Departamento de Fitotecnia Centro de Ciências Rurais, UFSM, Brasil. Av. Roraima, n. 1000, Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, CEP 97105-900, Brasil. e-mail: martin.ufsm@gmail.com

José Abramo Marchese. Engenheiro Agrônomo e Doutor em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Brasil. Professor, UTFPR, Brasil. e-mail: abramo.marchese@yahoo.com.br

Ana Karenina Fernandes de Sousa. Engenheira Agrônoma e Mestranda em Agronomia, UTFPR, Brasil.

Gilberto Luiz Curti. Engenheiro Agrônomo e Mestre em Agronomia, UTFPR, Brasil. Agrônomo, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Brasil. e-mail: gilbertoluzcurti@gmail.com

Hoilson Fogolari. Engenheiro Agrônomo e Mestre em Agronomia, UTFPR, Brasil.

Vinicius da Cunha dos Santos. Engenheiro Agrônomo e Mestre em Agronomia, UFSM, Brasil. Aluno do Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFSM, Brasil. e-mail: vinicius_scunha@hotmail.com

tos, irrigação e fertilização (Bignami y Rossinil, 1996).

A estimativa da área foliar pode ser realizada por meio de diferentes métodos, divididos em destrutivos e não destrutivos. Muitas vezes, os métodos destrutivos apresentam limitações quanto à quantidade dos efeitos de tratamentos que podem ser avaliados, principalmente quando existe um número limitado de plantas (Lopes *et al.*, 2007). Dentre os métodos assim classificados, podem ser citados os métodos: dos discos foliares (Lopes *et al.*, 2007), planímetros automáticos (Mielke *et al.*, 1995), massas foliares (Monteiro *et al.*, 2005) e fotogramétrico (Norman y Campbell, 1989), dentre outros. Quanto aos métodos não destrutivos, podem ser citados os que avaliam dimensões foliares (Partelli *et al.*, 2006), estimativa de áreas foliares mediante modelos de regressão (Moreira Filho *et al.*, 2007; Maldaner *et al.*, 2009), estimativa de variáveis biométricas para realizar a estimativa da área foliar (Coelho Filho *et al.*, 2005) e utilização de imagens digitais e *software* para a análise.

Muitos *software* são disponibilizados gratuitamente, o que não ocorre ao utilizar-se o integrador de área foliar (método padrão), onde os equipamentos são importados e caros, podendo ser um impedimento à realização da pesquisa. Utilizando-se de imagens digitais e *software*, diversos autores usando diferentes *software* realizaram estudos em diversas culturas, como por exemplo lima ácida (Siarcs; Coelho Filho *et al.*, 2005), café (Siarcs; Tavares Júnior *et al.*, 2002), nastúrcio (Sigma Scan Pro v. 5.0; Lopes *et al.*, 2007), soja (SPRING; Adami *et al.*, 2008), dentre outros.

A principal vantagem dos métodos não destrutivos é a manutenção da integridade das plantas e/ou folhas, onde as mesmas poderão ser avaliadas no tempo. Em contrapartida, o método que utiliza o integrador de área foliar (método destrutivo) é considerado padrão por diversos autores (Favarin *et al.*, 2002; Tavares Júnior *et al.*, 2002), pois o mesmo evita grande parte dos erros que ocorrem em outros métodos, pois indica de maneira direta o valor da área foliar mensurada.

O objetivo deste trabalho foi comparar as áreas foliares analisadas a partir das imagens digitais processadas pelo *software* ImageJ com o método padrão usando o integrador de área foliar, LI-COR 3100, na estimativa da área foliar da cultura de feijão.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em estufa plástica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, Paraná, Brasil. Para tanto, foram utilizados dois genótipos de feijão, sendo o primeiro classificado como preto (CHP 99-54) e o segundo como carioca (SCS 202 Guará), fornecido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar S.A./CEPAF. A semeadura foi realizada em 01/04/2008, em vasos de sete litros, contendo uma mistura de diferentes substratos nas seguintes proporções: 50% solo (provenientes da unidade de mapeamento Latossolo Vermelho distroférrico úmbrico, textura argilosa, álico, fase floresta subtropical perenifolia, relevo ondulado; Bhering *et al.*, 2008), 25% casca de arroz carbonizada, 20% húmus de minhoca e 5% calcário. Foram semeadas três sementes por vaso, objetivando, após o desbaste, a manutenção de uma planta por vaso, totalizando 20 vasos por genótipo.

As estimativas de área foliar foram realizadas pelo *software* ImageJ, disponível gratuitamente via internet (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>) e pelo integrador de área foliar LI-COR 3100. Foram realizadas cinco avaliações conforme as seguintes datas: 30/4/2008; 7/5/2008; 14/5/2008; 21/5/2008 e 28/5/2008. Em cada data de avaliação sortearam-se quatro vasos com uma planta (sem reposição) de cada genótipo, onde foram avaliadas as áreas foliares de todas as folhas. Após o sorteio, as folhas foram retiradas e identificadas, colocando-as sobre uma folha de papel de tamanho 21×29,7cm (A₄), previamente preparada, que continha impresso um retângulo de cor preta, totalmente preenchido, medindo 3×15cm (45cm²) utilizado para calibração do *software*. Em seguida, foram fotografadas todas as folhas das plantas de feijão com auxílio de uma máquina digital com 5.0 megapixels de resolução, que posteriormente foram submetidas à análise de área através do *software* ImageJ. Efetuados os trabalhos de fotografia, as folhas foram submetidas ao integrador de área foliar (LI-COR 3100).

Os dados referentes às áreas foliares obtidos por ambos os métodos foram armazenados em uma planilha eletrônica *software* Excel®, e posteriormente foram estimadas as estatísticas descritivas e os testes estatísticos, para todas as plantas de cada

genótipo em cada data de avaliação. As estatísticas descritivas utilizadas para caracterizar e comparar os métodos de estimativas das áreas foliares em cada método foram as seguintes: número de folhas (NF), média da área foliar (cm), desvio padrão (DP), intercepto da equação completa (Intercepção (B₀)) e inclinação (B₁), coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (r²), coeficiente de inclinação da reta quando B₀=0 (B₀=0), coeficiente de variação percentual (CV%), e equação reduzida para estimativa da área foliar para o método do integrador de área foliar (AF) em função da estimativa realizada pelo *software* ImageJ®, nas cinco épocas de avaliação.

Em seguida as médias das áreas foliares obtidas por ambos os métodos foram comparadas pelo teste t, bem como as variâncias foram comparadas pelo teste F. Os valores de área foliar obtidos em cada método, em cada época de avaliação para cada genótipo de feijão foram submetidos aos seguintes testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov (KS), Cramér-von Mises (CM), Anderson-Darling (AD), Kuiper (K), Watson (W), Lilliefors (Li) e Shapiro-Wilk (SW), utilizando-se o *software* Assisat (Silva e Azevedo, 2002), para que fosse possível verificar a existência de alterações nas distribuições de probabilidade dos dados avaliados por ambos os métodos. Por fim, aplicou-se o índice de concordância de Willmott (Willmott, 1981) para avaliar o grau de ajuste dos valores estimados pelo método das imagens digitais (ImageJ) em relação aos resultados obtidos pelo integrador de área foliar cuja equação é

$$ID = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (I_i - IJ_i)^2}{\sum_{i=1}^n [I_i - \bar{I}]^2 + [IJ_i - \bar{IJ}]^2} \right\},$$

em que I_i: valor obtido pelo integrador de área foliar, IJ_i: valor obtido pelo *software* ImageJ, e \bar{I} : média das áreas foliares obtidas pelo *software* ImageJ.

Resultados e Discussão

A partir dos resultados apresentados nas Tabelas I e II, verifica-se que o número total de folhas avaliadas foi de 124 e 111, para os genótipos preto (CHP 99-54) e carioca (SCS 202 Guará), respectivamente. Verificou-se que a variância avaliada pelo teste F apresentou-se homogênea em todas as avaliações quando avaliadas individualmente. A aplicação do teste F, foi realizada com o propósito de observar se a variabilidade dos dados es-

TABELA I
 ESTATÍSTICAS DAS ESTIMATIVAS DA ÁREA FOLIAR * (FEIJÃO PRETO - CHP 99-54) PELOS MÉTODOS DO INTEGRADOR DE ÁREA FOLIAR (LI-COR® 3100) E DO SOFTWARE IMAGEJ, NAS CINCO ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO

Estatísticas	1ª Avaliação (29/04)		2ª Avaliação (07/05)		3ª Avaliação (14/05)	
	Integrador	ImageJ®	Integrador	ImageJ®	Integrador	ImageJ®
NF	10		14		20	
Média	32,00	40,70	31,21	49,07	36,90	48,01
DP	20,3874	26,1692	20,2984	33,7005	26,7857	35,9217
Intercepção (Bo)	1,986726963		-1,953417073		-0,977318731	
Inclinação (B1)	1,209853822		1,635115558		1,327406534	
r	0,94	**	0,98	**	0,99	**
r ²	0,89	**	0,97	**	0,98	**
Bo=0	1,25533032690		1,5901740439		1,3097567673	
Teste F (p<0,01)	0,4685174845	ns	0,0788296239	ns	0,2099398992	ns
Teste t (p<0,01)	0,2088628765	ns	0,0506144384	ns	0,1373459150	ns
Normalidade ¹	Li	AN	AN	NA	AN	AN
ID	0,99		0,98		0,98	
CV%	63,721	64,304	65,048	68,677	72,585	74,825
Equação	AF = 1,25533032689937*IJ		AF = 1,59017404392741 * IJ		AF = 1,30975676737231 * IJ	
Estatísticas	4ª Avaliação (21/05)		5ª Avaliação (28/05)		Avaliação Geral	
	Integrador	Imagej®	Integrador	Imagej®	Integrador	Imagej®
NF	37		43		124	
Média	49,94	65,87	56,76	82,15	46,64	64,71
DP	33,8812	46,7262	39,2187	55,5859	33,8382	47,8574
Intercepção (Bo)	0,005469954		3,007068086		0,517024117	
Inclinação (B1)	1,318943136		1,394291761		1,37630519	
r	0,96	**	0,98	**	0,97	**
r ²	0,91	**	0,97	**	0,95	**
Bo=0	1,31901878827		1,43042219503		1,38358805229	
Teste F (p<0,01)	0,0575217229	ns	0,0260900007	ns	0,0001451451	**
Teste t (p<0,01)	0,0487278441	ns	0,0082425068	**	0,0003566517	**
Normalidade ¹	AD; SW	SW	KS; CM; AD; K; W; Li; SW.	KS; CM; AD; K; W; Li; SW.	KS; CM; AD; K; W; Li; SW.	KS; CM; AD; K; W; Li; SW.
ID	0,99		0,99		0,99	
CV%	67,846	70,936	69,096	67,667	72,553	73,960
Equação	AF = 1,31901878826724*IJ		AF = 1,43042219502985*IJ		AF = 1,38358805229188*IJ	

* Número de folhas (NF), média (cm), desvio padrão (DP), intercepto da equação completa (Intercepção (Bo)) e inclinação (B1), coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (r²), coeficiente de inclinação da reta quando B₀=0 (B₀=0), nível mínimo de significância para o teste F e para o teste t, testes de normalidade, índice de concordância de Willmott (ID), coeficiente de variação percentual (CV%), e equação reduzida para estimativa da área foliar para o método do integrador de área foliar (AF) em função da estimativa realizada pelo *software* ImageJ.

** Significativo a 1% de probabilidade de erro.

¹ Normalidade para todos os testes (AN); não apresenta normalidade pelo(s) teste(s) de Kolmogorov-Smirnov (KS), Cramér-von Mises (CM), Anderson-Darling (AD), Kuiper (K), Watson (W), Lilliefors (Li) e Shapiro-Wilk (SW).

timados por meio de ambos os testes possui similaridade. Para o presente caso, verificou-se que os valores de área foliar podem ser considerados similares no que diz respeito à variabilidade. Porém, na avaliação geral (uma única avaliação para todos os dados) a heterogeneidade foi observada para os dois genótipos. Uma das causas possíveis da não homogeneidade de variância para as avaliações gerais deve-se ao crescimento e desenvolvimento das plantas de feijão, onde as rugosidades naturais nas folhas podem ter surgido e/ou sobreposição dos folíolos ao estimarem-se as áreas foliares pelos diferentes métodos. Ou seja, dentro da mesma época de avaliação, as folhas possuem um mesmo padrão de rugosi-

dade, o que não ocorre entre as diferentes épocas de avaliação. O mesmo ocorre com as médias estimadas da área foliar que não são diferentes da primeira até a quarta avaliação e passam a diferenciar-se a partir da quinta avaliação e na avaliação geral. Provavelmente, tal fato ocorreu devido ao manuseio das folhas no momento da passagem de cada uma delas pelo integrador de área foliar, podendo sobrepor os folíolos (parcialmente) o que interfere nas medidas da área de cada uma das folhas. Os coeficientes de variação apesar de apresentarem-se com valores elevados possuem magnitudes similares quando comparados dentro da mesma época de avaliação. Para o genótipo preto eles variaram de 63,7 a

74,8 (Tabela I) e para o carioca, de 31,8 a 79,0 (Tabela II). No sentido de comparação das médias obtidas em métodos destrutivos (integrador de área foliar) e não destrutivos (AccuPAR) de estimação de área foliar (Tewolde *et al.*, 2009) observaram diferenças entre as estimativas de áreas foliares de algodão, o que não ocorreu no presente estudo.

Os coeficientes de correlação de Pearson, bem como os coeficientes de determinação, apresentaram valores acima de 0,89 (p<0,01), indicando uma boa relação entre os dados estimados através dos métodos. Apenas na primeira avaliação para o genótipo carioca (SCS 202 Guará) os valores foram baixos e não foram sig-

TABELA II
 ESTATÍSTICAS DAS ESTIMATIVAS DA ÁREA FOLIAR * (FEIJÃO CARIOCA - SCS 202 GUARÁ) PELOS MÉTODOS DO INTEGRADOR DE ÁREA FOLIAR (LI-COR® 3100) E DO SOFTWARE IMAGEJ, NAS CINCO ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO

Estatísticas	1ª Avaliação (29/04)		2ª Avaliação (07/05)		3ª Avaliação (14/05)	
	Integrador	ImageJ	Integrador	ImageJ	Integrador	ImageJ
NF	8		14		22	
Média	44,16	51,43	33,77	47,67	50,43	81,16
DP	14,0505	18,6715	24,2309	37,6863	34,1137	51,9324
Intercepção (Bo)	9,54465995		-2,757549054		7,249318512	
Inclinação (B1)	0,948621057		1,493286814		1,46539774	
r	0,71	ns	0,96	**	0,96	**
r ²	0,51	ns	0,92	**	0,93	**
Bo=0	1,14717960552		1,43804102646		1,56544365691	
Teste F (p<0,01)	0,4706896774	ns	0,1239756654	ns	0,0606010742	ns
Teste T (p<0,01)	0,1966798243	ns	0,1281241975	ns	0,0126637042	ns
Normalidade ¹	AN	AN	AN	AN	SW	AN
ID	0,96		0,99		0,99	
CV%	31,819	36,302	71,754	79,057	67,640	63,991
Equação	AF=1,14717960551645 * IJ		AF=1,43804102646406 * IJ		AF=1,56544365690578 * IJ	
	4ª Avaliação (21/05)		5ª Avaliação (28/05)		Avaliação Geral	
	Integrador	ImageJ	Integrador	Integrador	ImageJ	Integrador
NF	37		30		111	
Média	64,06	86,15	63,42	89,50	55,93	78,71
DP	34,1693	46,3881	34,6575	51,9942	33,4523	48,4817
Intercepção (Bo)	1,053655238		-4,794464458		0,234265167	
Inclinação (B1)	1,328321339		1,486823938		1,403042305	
r	0,98	**	0,99	**	0,97	**
r ²	0,96	**	0,98	**	0,94	**
Bo=0	1,34120305995		1,42816075395		1,40613452446	
Teste F (p<0,01)	0,0704418801	ns	0,0325824988	ns	0,0001231367	**
Teste T (p<0,01)	0,0112640974	ns	0,0129608422	ns	0,0000335607	**
Normalidade ¹	AN	AN	AN	AN	AD; SW	SW
ID	0,99		0,99		0,99	
CV%	53,338	53,858	54,647	58,093	59,808	61,595
Equação	AF=1,34120305995321 * IJ		AF=1,42816075395169 * IJ		AF=1,40613452445825 * IJ	

*número de folhas (NF), média (cm), desvio padrão (DP), intercepto da equação completa (Intercepção (Bo)) e inclinação (B1), coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (r²), coeficiente de inclinação da reta quando Bo=0 (Bo=0), nível mínimo de significância para o teste F e teste t, testes de normalidade, índice de concordância de Willmott (ID), coeficiente de variação percentual (CV%) e equação reduzida para estimativa da área foliar para o método do integrador de área foliar (AF) em função da estimativa realizada pelo *software* ImageJ

**Significativo a 1% de probabilidade de erro.

¹ Normalidade para todos os testes (AN); não apresenta normalidade pelo(s) teste(s) de Kolmogorov-Smirnov (KS), Cramér-von Mises (CM), Anderson-Darling (AD), Kuiper (K), Watson (W), Lilliefors (Li) e Shapiro-Wilk (SW).

nificativos (Tabela II), provavelmente isso ocorreu devido as folhas serem de tamanho reduzido o que dificultou o manuseio das mesmas. Para o parâmetro da equação de primeiro grau, verifica-se que houve significância de ajuste do parâmetro da equação (p>0,01). Alguns autores apresentam coeficiente de correlação (mínimo e máximo, respectivamente) dos estudos de comparação de métodos de estimativa de área foliar, dentre eles 0,94-0,98 (Tavares Júnior *et al.*, 2002); 0,44-0,95 (Sbrissia y Silva, 2008); e 0,96-0,97 (Partelli *et al.*, 2006). Dessa forma, os valores apresentados nesse estudo, estão em conformidade com os maiores valores de coeficiente de determinação apresentados na literatura.

Como as folhas do feijoeiro são trifoliadas, isso faz com que

os cuidados no manuseio de ambos os métodos devam ser elevados, pois podem ocorrer sobreposições dos folíolos e se isso ocorrer em diferentes intensidades em ambos os métodos, certamente ocorreria diferenças entre os métodos avaliados. Autores como Tewolde *et al.* (2005) compararam um novo equipamento para a estimativa de área foliar (AccuPAR) que apresenta alguns problemas nos métodos de avaliação, também realizaram algumas considerações de manejo para que as medidas possam ser realizadas minimizando-se os erros associados as estimativas. Então as diferenças não seriam devido a um método ser melhor que o outro, mas sim, devido ao manejo. Ao utilizar-se o método do integrador de área foliar, o operador deve estar atento a alguns cuidados de opera-

ção, como por exemplo, ao passar a folha pelo equipamento, essa não deve estar dobrada ou sobreposta, o que iria subestimar os valores de área foliar (também válido para as fotografias). No caso das fotografias, as mesmas poderão ser repetidas tantas quantas forem necessárias para que erros dessa magnitude sejam verificados. Além disso, a inclinação da fotografia também poderá ocasionar alterações nas medidas. O ideal é que a fotografia seja realizada perpendicularmente em relação à exposição da folha.

Pelos resultados observados nas Tabelas I e II, verifica-se que os valores para os índices de concordância de Willmott foram elevados (>0,96), bem como os dados, na maioria das vezes seguem a distribuição normal, pelos testes aplicados (nos da-

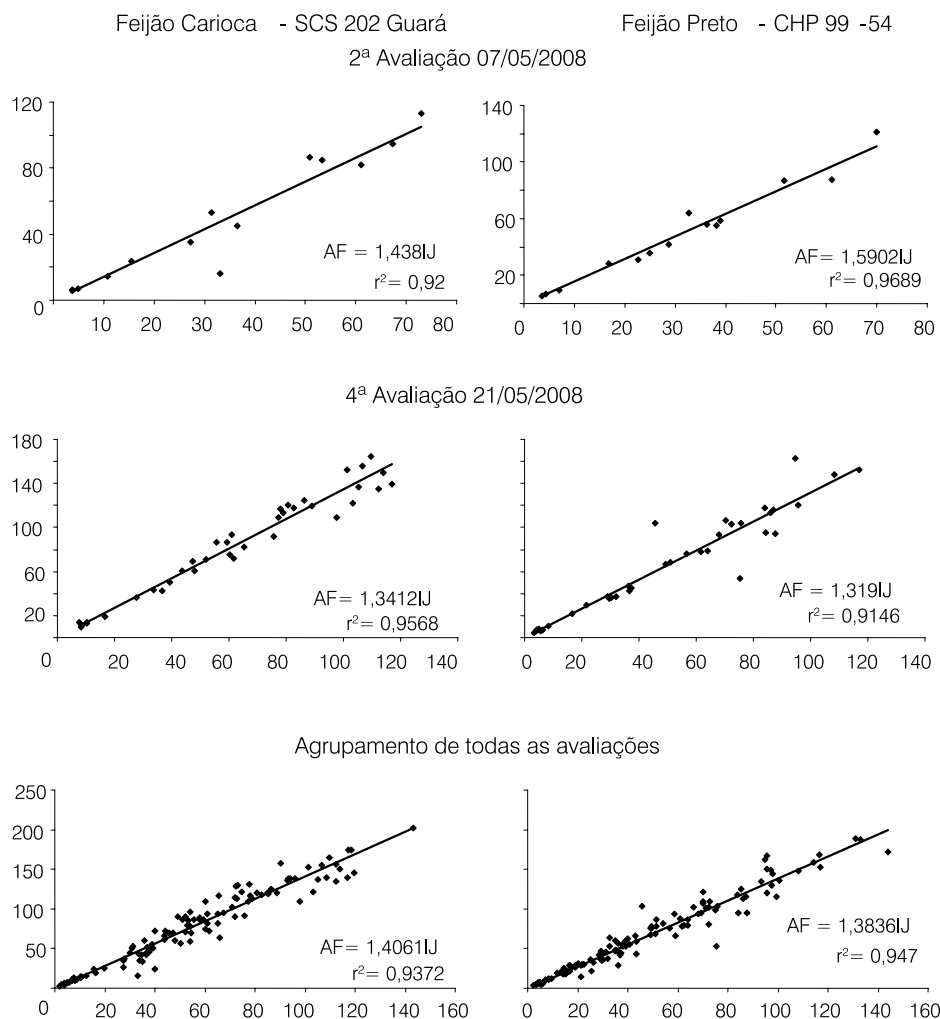


Figura 1. Estimativa da área foliar de feijão Carioca e Feijão Preto em função de cinco épocas de avaliação (29/04; 07/05; 14/05; 21/05 e 28/05) estimada pelos métodos de integrador óptico (LI-COR 3100) (Eixo Y, AF, cm) e o *software* IMAGEJ (Eixo X, IJ, cm).

dos estimados por ambos os testes em cada data de avaliação) e quando isso não ocorre, geralmente a ausência de normalidade ocorre para os dados estimados por ambos os métodos. A partir dos resultados observados na Figura 1, verifica-se que o *software* ImageJ, obtém resultados semelhantes aos obtidos pelo integrador de área foliar. A precisão obtida através de sistemas eletrônicos chega a 1g para a classificação da massa de frutos e de 1mm para o diâmetro (Lino *et al.*, 2008). Além disso, autores como Jesus Júnior *et al.* (2001) compararam as estimativas de área foliar em feijoeiro utilizando o integrador de área foliar LAI2000 e a medida central da folha. Esses autores obtiveram correlação >0,97 entre os métodos. Os resultados obtidos no presente estudo, em sua maioria, obtiveram valores de correlação >0,95, entre os mé-

todos estudados. No mesmo sentido, Tewolde *et al.* (2005), comparando métodos não destrutivos com métodos destrutivos de estimativa de área foliar, obtiveram valores de correlação entre os métodos superiores a 0,66. Os autores concluíram que o equipamento (AccuPAR) em teste sofre influência do afastamento entre as fileiras, já que o mesmo é colocado na base do solo, entre as fileiras.

Sbrissia y Silva (2008), ao comparar três métodos na estimativa de área foliar em capim-marandu, detectaram variações, sendo que o melhor método foi o método direto destrutivo e não recomendam o uso do analisador de dossel visando coletar dados de IAF. Também nesse caso, os valores de coeficiente de determinação entre os métodos avaliados variou entre 0,22 e 0,859. Outra alternativa eficiente na

estimativa da área foliar foi realizada para as culturas do pepino e tomate (Blanco y Folegatti, 2003), apresentando economia de tempo e mão-de-obra conforme citam os autores.

Os métodos com imagens digitais utilizados para a avaliação das áreas foliares das plantas tendem a ser fáceis, rápidos, econômicos e não destrutivos. A partir dessas características é possível realizar pesquisas de qualidade com menor custo, mão-de-obra e precisão equivalente aos métodos que utilizam o integrador de área foliar. Dessa forma, os dados apresentados no presente trabalho evidenciam que a estimativa de área foliar na cultura do feijão para ambos os genótipos pode ser realizado de maneira simples e com qualidade desejável na pesquisa.

Conclusão

O método para estimativa da área foliar em feijão que utiliza o *software* ImageJ pode ser usado em substituição ao métodos do integrador de área foliar (LI3100 LI-COR).

REFERÊNCIAS

- Adami M, Hastenreiter FA, Danilton LF, Faria RT (2008) Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. *Bragantia* 67: 1053-1058.
- Bhering SB, Santos HG (2008) *Mapa de Solos do Estado do Paraná: Legenda Atualizada*. EMBRAPA/IAPAR. Rio de Janeiro, Brasil. 74 pp.
- Bignami C, Rossini F (1996) Image analysis of leaf area index and plant size of young hazelnut plants. *J. Hort. Sci.* 71: 113-121.
- Blanco FF, Folegatti MV (2003) A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Hort. Bras.* 21: 666-669.
- Coelho Filho MA, Angelocci LR, Vasconcelos MRB, Coelho EF (2005) Estimativa da área foliar de plantas de lima ácida 'tahiti' usando métodos não-destrutivos. *Rev. Bras. Frut.* 27: 163-167.
- Favarin JL, Dourado Neto D, Garcia AG, Villa Nova NA, Favarin MGGV (2002) Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesq. Agropec. Bras.* 37: 769-773.
- Jesus Junior WC, Vale FXR, Coelho RR, Costa LC (2001) Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. *Agron. J.* 93: 989-999.
- Lino ACL, Sanches J, Fabbro IMD (2008) Image processing techniques for lemons and tomatoes classification. *Bragantia* 67: 785-789.
- Lopes SJ, Brum B, Santos VJ, Fagan EB, Luz GL, Medeiros SLP (2007) Estimativa da área foliar de meloeiro em diferentes es-

- tádios fenológicos por fotos digitais. *Ciênc. Rur.* 37: 1153-1156.
- Maldaner IC, Heldwein AB, Loose LH, Lucas DDP, Guse FI, Bortoluzzi MP (2009) Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. *Ciênc. Rur.* 39: 1356-1361.
- Mielke MS, Hoffman A, Endres JC, Fachinello JC (1995) Comparação de métodos de laboratório e de campo para estimação da área foliar em fruteiras silvestres. *Sci. Agric.* 52: 82-88.
- Monteiro JEB, Sentelhas PC, Chiavegato EJ, Guiselini C, Santiago AV, Prael A (2005) Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. *Bragantia* 64: 15-24.
- Moreira Filho EC, Silva DS, Pereira WE, Cabral Júnior CR, Andrade MVM, Silva GE, Viana BL (2007) Estimação da área foliar da flor de seda (*Calotropis procera*). *Arch. Zootecn.* 214: 245-248.
- Norman JM, Campbell GS (1989) Canopy structure. Em Percy RW, Ehleringer JR, Mooney HA, Rundel PW (Eds.) *Plant Physiological Ecology*. Chapman and Hall. Londres, RU. pp. 301-325.
- Partelli FL, Vieira HD, Detmann E, Campos-trini E. (2006) Estimativa da área foliar do cafeeiro conilon a partir do comprimento da folha. *Ceres* 53: 204-210.
- Sbrissia AF, Silva SC (2008) Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. *Rev. Bras. de Zootecn.* 37: 212-220.
- Silva FAZ, Azevedo CAV (2002) Versão do programa computacional Assisat para o sistema operacional Windows. *Rev. Bras. Prod. Agroind.* 4: 71-78.
- Tavares Junior JE, Favarin JL, Dourado Neto D, Maia AHN, Fazouli L C, Bernardes MS (2002) Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. *Bragantia* 61: 199-203.
- Tewelde H, Sistani KR, Rowe DE, Adeli A, Tesgaye T. (2005) Estimating cotton leaf area index nondestructively with a light sensor. *Agron. J.* 97:1158-1163.
- Watson DJ (1947) Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf between species and varieties, and within and between years. *Ann. Bot.* 11: 41-76.
- Wilhelm WW, Ruwe K, Schlemmer MR (2000) Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. *Crop Sci.* 40: 1179-1183.
- Willmott CJ (1981) On the validation of models. *Phys. Geogr.* 2: 184-194.

USING THE IMAGEJ SOFTWARE TO ESTIMATE LEAF AREA IN BEAN CROP

Thomas Newton Martin, José Abramo Marchese, Ana Karenina Fernandes de Sousa, Gilberto Luiz Curti, Hoilson Fogolari and Vinícius dos Santos Cunha

SUMMARY

This study aimed to compare two methods of leaf area estimation: leaf area integration and ImageJ software, in bean plants. The experiment was conducted in 2008, in a greenhouse at the Federal Technological University of Paraná, Campus Pato Branco, Paraná, Brazil. Leaf area was studied in two bean genotypes (black CHP 99-54 and carioca SCS 202 Guará) every seven days, totalizing five assessments. At each assessment four plants per genotype were randomly selected. The leaves were removed, identified and placed on a sheet of A4 white paper with black markings of known area (45cm²) and then photographed and assessed by the leaf area integrator. From the values obtained with each method, position statistics

of dispersion were estimated, the variance normality and homogeneity of variance was tested by Bartlett's test, the means were compared by t-test, and the concordance index Willmott was applied to mathematically evaluate the estimated and observed values. It was found that for the majority of leaf area assessments, estimates with both methods have a normal distribution, the means and variances do not differ between themselves, and the Willmott index agreement values were high for the bean genotypes studied. Thus, the method for estimating leaf area using the ImageJ software can be used instead of the methods of leaf area integrator.

UTILIZANDO EL SOFTWARE IMAGEJ PARA ESTIMAR EL ÁREA FOLIAR PARA EL CULTIVO DE FRIJOL

Thomas Newton Martin, José Abramo Marchese, Ana Karenina Fernandes de Sousa, Gilberto Luiz Curti, Hoilson Fogolari y Vinícius dos Santos Cunha

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo comparar dos métodos para la estimación del área foliar en plantas de frijol: el integrador área foliar y el software ImageJ. El experimento se llevó a cabo en 2008, en el invernadero de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Campus Pato Branco, Paraná, Brasil. Se estudió el área foliar de dos genotipos de frijol (negro CHP 99-54 y carioca SCS 202 Guará) cada siete días con un total de cinco mediciones. En cada evaluación se seleccionaron al azar cuatro plantas por genotipo. Las hojas fueron retiradas, identificadas y colocadas sobre una hoja de papel blanco A4 con marcas negras de área conocida (45cm²), fotografiadas y evaluadas por medio del integrador de área foliar. A partir de los valores obtenidos

con cada método, se estimó las estadísticas de posición de dispersión, se evaluó la normalidad y homogeneidad de la varianza mediante el test de Bartlett, se comparó las medias con la prueba t, y se aplicó el índice de concordancia de Willmott para evaluar matemáticamente los valores estimados y observados. Se encontró que la mayoría de los valores de las estimaciones de superficie de hojas por ambos métodos tienen una distribución normal, las medias y las varianzas no difieren entre ellos, y el índice de valores de acuerdo Willmott eran altos para los genotipos de frijol estudiados. Así, el método para estimar el área foliar utilizando el software ImageJ puede utilizarse en lugar de los métodos de integrador del área foliar.