

ÁREA FOLIAR DE FOLHAS ÍNTEGRAS E DANIFICADAS DE CAFEIEIRO DETERMINADA POR DIMENSÕES FOLIARES E IMAGEM DIGITAL

Danilton Luiz Flumignan¹, Marcos Adami², Rogério Teixeira de Faria³

(Recebido: 6 de julho de 2007; aceito: 24 de setembro de 2007)

RESUMO: A quantidade de área foliar (AF) é um indicativo de produtividade dos cultivos, além de ser requerida para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos. Avaliou-se o desempenho de métodos baseados em dimensões foliares e imagem digital na determinação de AF de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), em relação ao método integrador de AF, em duas situações: folhas íntegras e danificadas. Foram também avaliadas as medidas do método imagem digital quando as imagens foram obtidas no campo (amostra indestrutiva) e no laboratório (amostra destrutiva). Concluiu-se que o método dimensões foliares estima adequadamente AF de folhas íntegras de cafeeiro, porém, é inadequado para folhas danificadas. O método imagem digital apresenta ótima precisão para medir AF de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro, tanto no laboratório quanto no campo. Conseqüentemente, esse método pode substituir, com vantagem, o método integrador de AF, por ser não destrutivo, de baixo custo e portátil.

Palavras-chave: Índice de área foliar, software spring, integrador de área foliar, *Coffea arabica*.

LEAF AREA OF WHOLE AND DAMAGED COFFEE LEAVES (*Coffea arabica* L.) DETERMINED BY LEAF DIMENSIONS AND DIGITAL IMAGING

ABSTRACT: Leaf area (LA) is an indicative of crop yield and is required in most agronomic and physiological studies. In this work, two methods to measure coffee leaf area, one based on leaf dimensions and the other on digital imaging, were compared to the standard LI-COR method, using whole and damaged leaves. The digital image measurements, taken in the lab (destructive sample) and in the field (non-destructive sample), were also compared. It was concluded that the leaf dimensions based method estimated adequately the LA of whole leaves, but was not suitable for damaged leaves. The digital imaging method measured, with great precision, the LA of both, whole and damaged leaves. Therefore, this method can substitute the LI-COR method, with the advantage of being non-destructive, low cost and portable.

Key words: Leaf area index, spring, LI-COR, *Coffea arabica*.

1 INTRODUÇÃO

A folha assume funções muito importantes nas plantas, tais como a interceptação e absorção da luz, realização da fotossíntese, trocas gasosas e transpiração (FAHN, 1974; LARCHER, 2000; TAIZ & ZEIGER, 2004). A quantidade de área foliar (AF) é um indicativo de produtividade dos cultivos (FAVARIN et al., 2002), além de ser requerida para a maioria dos estudos agrônômicos e fisiológicos (BLANCO & FOLEGATTI, 2003). Estudos relacionados à densidade de plantio, adubação, irrigação, poda e aplicação de defensivos também requerem o conhecimento dessas informações (FAVARIN et al., 2002; TAVARES-JÚNIOR et al., 2002).

Os métodos de determinação de AF podem ser classificados como destrutivos ou não destrutivos e diretos ou indiretos. Os métodos destrutivos são aqueles que exigem a retirada de partes da planta, o

que pode não ser possível em alguns casos devido a particularidades do estudo em questão. Já os não-destrutivos são aqueles que não necessitam da retirada de suas partes, preservando, assim, a sua integridade e permitindo a continuidade das avaliações na mesma planta. Os métodos diretos são baseados em medidas realizadas diretamente nas folhas, enquanto os indiretos são baseados na correlação conhecida entre uma variável biométrica mensurável e AF real.

Existem vários métodos para determinação de AF na cultura do cafeeiro; entretanto, na prática, são utilizados principalmente dois: dimensões foliares e a utilização do integrador de AF. O método de dimensões foliares estima AF pela relação entre AF real e a área de um retângulo que circunscreve a folha e é amplamente empregado em trabalhos de campo devido à sua praticidade, boa qualidade das estimativas e por ser não-destrutivo. O método integrador de AF,

¹Mestrando em Agronomia, UEL – Departamento de Agronomia – Londrina, PR – Bolsista da CAPES – daniltonlf@pop.com.br

²Doutorando em Sensoriamento Remoto – INPE – São José dos Campos, SP – adami@dsr.inpe.br

³Pesquisador da Área de Engenharia Agrícola do IAPAR – Caixa Postal 481 – 86001-970 – Londrina, PR – rtfaria@iapar.br

normalmente utilizado como referência, mede AF pelo princípio de células de grade de área conhecida (LICOR, 1996); entretanto, possui custo elevado e é destrutivo. Recentemente, aparelhos portáteis capazes de serem utilizados no campo sem a necessidade de destruir a planta têm sido lançados no mercado, porém com a desvantagem de apresentarem custo elevado.

Câmeras fotográficas digitais são também disponíveis no mercado, porém, a um custo bastante acessível e encontram-se bastante popularizadas. Esses equipamentos são promissores para trabalhos de campo na medição de AF por serem portáteis, mais baratos que o integrador de AF e podem ser usados em determinações não-destrutivas, possivelmente com maior precisão que o método de dimensões foliares, principalmente em situações nas quais as folhas apresentam-se danificadas. O método imagem digital determina AF com base na escala e na resolução em que é obtida a imagem (pontos por polegada ou *dots per inch* - dpi), por meio de um software que determina a área de cada elemento que compõe a imagem (*pixel*), dividindo a imagem em duas categorias (folha e não-folha) e integrando os elementos que pertencem à mesma categoria.

Barros et al. (1973) e Rey & Alvarez (1991) indicaram a viabilidade de estimar AF de folhas de cafeeiros utilizando medidas do comprimento (C) e largura (L). Monteiro et al. (2005) concluíram que AF do algodoeiro pode ser estimada pelo método de dimensões foliares com erros em torno de 10% e pelo método de massa seca das folhas com erros inferiores a 2% com a desvantagem, entretanto, de ser um método destrutivo. Queiroga et al. (2003) identificaram a possibilidade de estimar AF do feijão-vagem de crescimento determinado por meio de L máximo do folíolo central. Tavares-Júnior et al. (2002) compararam as estimativas de AF de folhas de cafeeiros pelos métodos: dimensões foliares, proposto por Barros et al. (1973); discos foliares e análise de imagens digitalizadas com uso de *scanner*, pelo software Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (SIARCS 3.0), proposto por Jorge & Crestana (1996), com o método integrador de AF. Esses pesquisadores constataram que o método SIARCS 3.0, apesar de destrutivo, foi o mais exato (podendo, inclusive, ser usado como substituto ao método integrador de AF), que o método dimensões

foliares subestimou AF e que o método discos foliares superestimou AF.

Neste trabalho objetivou-se avaliar a qualidade da estimativa fornecida pelo método dimensões foliares e da medida obtida pelo método imagem digital de AF de folhas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) conduzidos em campo, em comparação com as medições fornecidas pelo integrador de AF, em duas situações distintas: com as folhas íntegras e com as folhas danificadas, a fim de simular situações de campo que levam à alteração de AF. Avaliou-se ainda o desempenho do método imagem digital na medição de AF em amostras destrutivas (laboratório) e não-destrutivas (campo), a fim de verificar se o método pode ser utilizado em trabalhos de campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina-PR, no ano de 2006, utilizando uma amostra, denominada amostra principal, constituída de 60 folhas de cafeeiro da cultivar IAPAR 59 (*Coffea arabica* L.), coletadas ao acaso de todas as faces e posições do dossel, em 10 plantas de uma lavoura com aproximadamente 4 anos de idade.

Foram avaliados dois métodos de determinação de AF: o método de dimensões foliares e o método imagem digital. Ambos os métodos foram comparados com as medidas do método integrador de AF, assumindo que essas medidas são exatas e considerando esse como o método de referência. As determinações de AF foram feitas em duas situações distintas: com as folhas íntegras e com as folhas danificadas. Na primeira tomaram-se folhas com o limbo foliar íntegro da forma que se encontravam na planta, ao passo que, na segunda, as folhas da amostra foram cortadas aleatoriamente, a fim de simular danos comumente ocorridos em campo.

As determinações foram realizadas num prazo de seis horas para minimizar, ao máximo, eventuais deformações nas folhas. A seqüência das determinações foi a seguinte: dimensões foliares com as folhas íntegras (campo), imagem digital com as folhas íntegras (campo), imagem digital com as folhas íntegras (laboratório), integrador de AF com as folhas íntegras (laboratório), imagem digital com as folhas danificadas (laboratório) e integrador de AF com as folhas danificadas (laboratório). A determinação

dimensões foliares com as folhas danificadas foi considerada igual à determinação dimensões foliares com as folhas íntegras (campo), tendo em vista, que nesse método, consideram-se apenas os extremos e não a integridade da folha. A determinação imagem digital com as folhas íntegras (laboratório) foi realizada para confrontar com a imagem digital com as folhas íntegras (campo), com o objetivo de verificar se o método pode ser aplicado no campo sem a necessidade de destruir partes da planta.

O método integrador de AF consistiu da determinação de AF por meio do escaneamento realizado pelo aparelho integrador de AF, que se baseia no princípio de células de grade de área conhecida. As medições foram realizadas utilizando o modelo LI 3100 da marca LI-COR (LI-COR, 1996).

O método de dimensões foliares teve seu modelo ajustado baseado no produto de C e L das folhas e AF real medida pelo integrador de AF para a cultivar estudada. Sendo assim, utilizou-se uma amostra independente de 60 folhas, que foi coletada na mesma lavoura seguindo a metodologia usada para coleta da amostra principal. O procedimento resultou na seguinte equação de regressão, que apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9895:

$$AF_{df} = 0,6751 \times (C \times L) + 0,3533 \quad (1)$$

na qual AF_{df} é AF estimada pelo método de dimensões foliares, C é o comprimento máximo e L, a largura máxima da folha.

O método imagem digital consistiu da captura de imagens das folhas por meio de uma câmera fotográfica digital (Marca Sony, modelo DSC-P72, 3,2 mega pixels) e seu processamento pelo software SPRING (Sistema de processamento de informações georeferenciadas) (CAMARA et al., 1996). Determinou-se AF com base na escala (variável) e na resolução em que foram obtidas as imagens (300 dpi). Esses dados foram usados como entrada para o software SPRING, para determinar a área de cada *pixel* que compõe a imagem e integrar os elementos pertencentes à mesma categoria. Para determinar a escala da fotografia no SPRING, as folhas foram dispostas sobre uma chapa de PVC, de coloração branca, com dimensões de 19,4 x 12,1 cm, com uma trena milimetrada de 18 cm colada no eixo Y e outra de 9 cm no eixo X. Para eliminar ondulações e rugosidades, as folhas foram dispostas abertas sobre

a chapa de PVC e prensadas por uma chapa de vidro transparente de 19,6 x 12,4 cm.

O cálculo da resolução inicial, sem correção, para os valores X e Y, foi feito pela seguinte equação:

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

sendo res_{ini} a resolução inicial do eixo i (cm) e dpi, a resolução na qual foi obtida a imagem (dpi).

Após o cálculo da resolução inicial, as imagens foram importadas pelo software SPRING e, devido ao ângulo e distância variáveis em que foram obtidas, corrigiu-se a escala na análise de cada foto, conforme a equação 3:

$$res_{fin} = res_{ini} \left(\frac{Vo_{ei}}{Vm_{ei}} \right) \quad (3)$$

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 correção da escala, determinaram-se as dimensões do *pixel* em X e Y.

A classificação automática das imagens, realizada pelo software, possibilitou dimensionar a área de cada folha, de acordo com a seguinte equação:

$$AF_{id} = \sum_{i=1}^n res_{finxi} \times res_{finyi} \quad (4)$$

em que AF_{id} é AF medida pelo método imagem digital (cm^2), i é o índice utilizado para representar os elementos classificados como folha, $i=1, \dots, n$, res_{finxi} é a resolução final do *pixel*, no eixo X, na posição i, e res_{finyi} é a resolução final do *pixel*, no eixo Y, na posição i.

Os métodos de dimensões foliares e imagem digital foram comparados por análise de regressão ($y = ax + b$) com o método integrador de AF. Os critérios utilizados na comparação dos métodos foram: a) coeficiente angular (a); b) intercepto (b); c) coeficiente de determinação (R^2) e d) teste de precisão da estimativa pelo índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981). As medidas do método imagem digital no campo e no laboratório também foram comparadas segundo os mesmos critérios de avaliação. Além disso, os dados foram submetidos à análise de variância, comparando-se as médias pelo teste de Tukey.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos de dimensões foliares e imagem digital apresentaram excelente precisão na determinação de AF de folhas íntegras de café (Figura 1A e Tabela 1). O intercepto foi muito próximo à origem e o coeficiente angular de 1, indicando estreita concordância com o método de referência integrador de AF. Também os valores de R^2 e d , por serem próximos ou iguais a 1, foram considerados ótimos, indicando, respectivamente, bom ajuste dos dados em relação à reta do modelo de regressão e que houve pouco afastamento dos valores obtidos entre os métodos avaliados e o integrador de AF. Esses resultados concordam com Barros et al. (1973) e Rey & Alvarez (1991) que indicaram a viabilidade de estimar AF do cafeeiro a partir de medidas de C e L das folhas. Tavares-Junior et al. (2002), trabalhando com café da cultivar Mundo Novo IAC 388-17, também encontraram que o método de dimensões

foliares apresentou boa correlação com as medidas do integrador de AF.

O método de dimensões foliares apresentou menor desempenho na estimativa de AF de folhas danificadas de café (Figura 1B e Tabela 1). Embora o valor do intercepto tenha sido muito próximo da origem (0,8994), o coeficiente angular excedeu bastante a unidade (1,27), indicando superestimativa do método. Isso ocorreu porque o método dimensões foliares não é sensível a alterações nas condições de integridade das folhas. Assim, folhas que apresentam áreas internas danificadas têm o seu valor de AF superestimado pelo fato de o método considerar somente as dimensões C e L. O coeficiente de determinação foi ainda elevado (0,9835), devido à baixa dispersão em torno da linha de regressão, já o índice d (0,9119) foi o menor de todos, indicando maior afastamento dos valores obtidos em relação ao

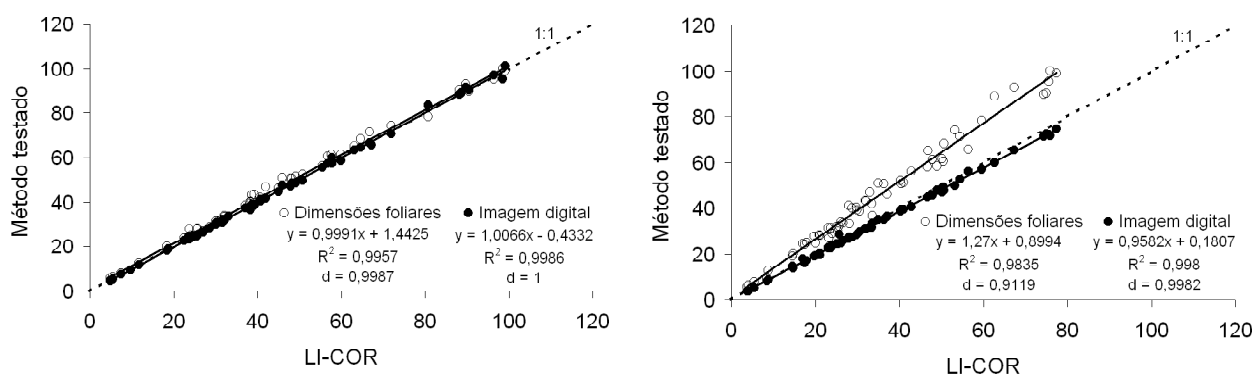


Figura 1 – Correlação entre área foliar (cm^2) de folhas íntegras (A) e danificadas (B) de café determinada pelos métodos dimensões foliares e imagem digital em comparação ao método de referência integrador de área foliar. Londrina, PR, 2006.

Tabela 1 – Coeficiente angular (a), intercepto (b), coeficiente de determinação (R^2) e índice de Willmott (d) da análise do modelo de regressão da área foliar de folhas íntegras e danificadas de café determinada pelos métodos dimensões foliares e imagem digital comparados com o método de referência integrador de área foliar.

Condição da folha	Método	a	b	R^2	d
Folhas íntegras	Dimensões foliares	0,9991	1,4425	0,9957	0,9987
	Imagem digital	1,0066	-0,4332	0,9986	1
Folhas danificadas	Dimensões foliares	1,27	0,8994	0,9835	0,9119
	Imagem digital	0,9582	0,1807	0,998	0,9982

método de referência. Enfatiza-se que esse modelo de regressão serve para essa amostra; porém, apresentará baixo desempenho para outras amostras de folhas danificadas por apresentarem padrões de danos diferentes. Por esses resultados, verifica-se que a possibilidade de estimar AF do cafeeiro com base nas dimensões foliares, conforme proposto nos trabalhos de Barros et al. (1973) e Rey & Alvarez (1991), é válida apenas para condições de folhas íntegras, uma vez que o método de dimensões foliares não é sensível a eventuais deformações nas folhas. Assim sendo, em trabalhos nos quais se faz necessário determinar a AF do cafeeiro em condições de folhas danificadas, o método dimensões foliares torna-se ineficiente, fazendo-se necessária a utilização de um método alternativo.

O método imagem digital apresentou ótimo desempenho na medição de AF de folhas danificadas de café (Figura 1B e Tabela 1). O valor de a foi bastante próximo de 1 (0,9582) e b bastante próximo de 0 (0,1807), inferindo-se que houve plena concordância entre os valores medidos por ambos os métodos. Além disso, os elevados valores de R^2 (0,998) e d (0,9982) indicaram, respectivamente, mínima dispersão dos dados em relação à reta de regressão e baixíssimo desvio em relação ao método integrador de AF. Assim sendo, o método imagem digital, ao contrário do dimensões foliares, foi eficiente na medição de AF do cafeeiro, também em condições de folhas íntegras.

A AF determinada pelos métodos dimensões foliares e imagem digital não apresentou diferença significativa em relação à AF medida pelo método integrador de AF para folhas íntegras (Tabela 2). Tavares-Junior et al. (2002) também não encontraram diferença significativa ao compararem os métodos dimensões foliares e SIARCS 3.0 com o integrador de AF. No entanto, para folhas danificadas, o método imagem digital não apresentou diferença em relação ao método integrador de AF, enquanto o método dimensões foliares comportou-se estatisticamente diferente.

As médias de AF determinadas pelo método imagem digital no campo e no laboratório não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 3). A correlação das medidas (Figura 2) revelou valor de a próximo de 1 (1,0097) e b próximo de 0 (0,2116), além de R^2 e d muito próximos à unidade, indicando que houve plena concordância entre os valores medidos nas duas situações. Portanto, o método imagem digital pode ser indicado para medição de AF de folhas íntegras e danificadas de cafeeiros, em campo e laboratório, podendo, inclusive, substituir o método integrador de AF tal qual o método SIARCS 3.0 no trabalho de Tavares-Júnior et al. (2002). Contudo, o método imagem digital proposto neste trabalho apresenta a vantagem de ser um método não-destrutivo, enquanto o método SIARCS 3.0 é um método destrutivo.

Tabela 2 – Comparação das médias de área foliar (cm²) de folhas íntegras e danificadas de café obtidas pelos métodos integrador de área foliar, dimensões foliares e imagem digital.

Condição da folha	Integrador de área foliar	Dimensões foliares	Imagem digital
Folhas íntegras*	44,78 a	46,18 a	44,64 a
Folhas danificadas*	35,65 a	46,18 b	34,34 a

* Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Tabela 3 – Comparação das médias de área foliar (cm²) de folhas íntegras de café determinada pelo método imagem digital em condições de campo e laboratório.

Método avaliado	Campo	Laboratório
Imagem digital*	44,64 a	44,00 a

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,01$)

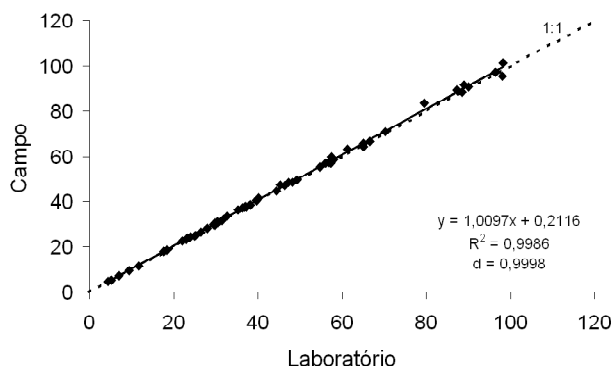


Figura 2 – Correlação entre área foliar (cm²) de folhas íntegras de café determinada pelo método imagem digital quando as imagens foram obtidas no campo e no laboratório. Londrina-PR, 2006.

4 CONCLUSÕES

Pelo método dimensões foliares, estima-se adequadamente AF de folhas íntegras de cafeeiro; porém, é inadequado para folhas danificadas.

Pelo método imagem digital apresenta ótima qualidade na medição de AF de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro, tanto no laboratório quanto no campo.

O método imagem digital pode substituir com vantagem o método integrador de AF por ser não destrutivo, de baixo custo e portátil.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA-FILHO, L. J. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* 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, 2003.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, Dordrecht, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

FAHN, A. **Plant anatomy**. Oxford: Pergamon, 1974. 611 p.

FAVARIN, J. L.; DARIO NETO, D.; GARCÍA, A. G.; NOVA, N. A. V.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0: novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

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

MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A. V.; PRELA, A. Estimção da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 15-24, 2005.

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, 2003.

REY, R.; ALVAREZ, P. Evaluación de diferentes ecuaciones de regresión en la estimación del área foliar del cafeto en vivero a partir de sus medidas lineares. **Agrotecnia de Cuba**, La Habana, v. 23, n. 3/4, p. 69-74, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAVARES-JÚNIOR, J. E.; FAVARIN, J. L.; DOURADONETO, D.; MAIA, A. H. N.; FAZUOLI, 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. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Palm Beach, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.