

ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE MUDAS DE CAFÉ POR MEIO DE MODELOS MATEMÁTICOS

Julio B. FERREIRA JUNIOR¹; Everton A. da COSTA²; Sérgio L. SANTANA DE ALMEIDA³; Katia A. CAMPOS⁴

RESUMO

Objetivou-se com esse trabalho selecionar equações que melhor se ajustem à determinação da área foliar das mudas de cafeeiro Mundo Novo LCP 379-19, utilizando dimensões lineares, para tanto, folhas de 30 mudas de meio ano foram colhidas e sua área foliar (cm²) estimada por meio do medidor eletrônico de área foliar portátil, CID Bio Science, modelo CI-203. Foram ainda obtidas, por meio de medições com régua milimetrada, as medidas das maiores larguras e comprimentos, e calculados seus produtos. Para o estabelecimento dos modelos matemáticos, foram testados os modelos linear, potência e exponencial. Os resultados deste estudo permitem concluir que as equações obtidas pelo produto comprimento por largura são as que melhor expressam a estimativa de área foliar de mudas de cafeeiro Mundo Novo LCP 379-19. E, pela simplicidade, deve-se optar pelo modelo linear.

Palavras-chave: método não destrutivo, *Coffea arabica*, dimensão foliar.

INTRODUÇÃO

A mensuração da área foliar é feita em vários estudos agrônômicos, pois segundo Schmildt et al. (2014) o conhecimento da área foliar deve ser considerado como um dos mais importantes parâmetros na avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas. Tal importância é devido à área foliar estar ligada ao incremento de matéria seca, além de permitir a avaliação parâmetros fisiológicos,

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Machado. Machado/MG, email: jullius_agronomia@hotmail.com;

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Machado. Machado/MG, email: gigspin@hotmail.com;

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas – Câmpus Machado. Machado/MG, email: sergio.santana@ifsulde Minas.edu.br;

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas – Câmpus Machado. Machado/MG, email: katia.campos@ifsulde Minas.edu.br.

tais como intensidade de transpiração, taxa assimilatória líquida, razão de área foliar, área foliar específica e índice de área foliar (AMARAL et al., 2009).

Pereira et al. (1997) afirmam que a folha é o principal órgão no processo transpiratório, responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente, razão pela qual o conhecimento da área foliar é de grande utilidade para a avaliação de outras técnicas culturais como poda, adubação, densidade de plantio e aplicação de defensivos.

A medição da área foliar pode ser feita de forma direta destrutiva ou não, e de forma indireta não destrutiva. Para determinar a área foliar diretamente, geralmente todas as folhas da planta são coletadas, caracterizando o método como destrutivo e de elevada mão de obra (TOEBE et al., 2012).

A medição da área foliar de forma direta não destrutiva, apesar de ser fácil, depende de equipamentos geralmente caros (ILKAE et al., 2011), enquanto os métodos indiretos e não destrutivos permitem avaliações sucessivas em uma mesma planta e rapidez nas avaliações (TOEBE et al., 2012).

Existem na literatura várias metodologias para estimar a área foliar em *Coffea arabica* que encontraram equações diferentes para determinar a área foliar para mudas de cafeeiro adulto (ANTUNES et al., 2008; AWATRAMANI; GOPALAKRISHNA, 1965; BARROS et al., 1973; FLUMIGAN; ADAMI; FARIA, 2008; REY; ALVAREZ, 1991; SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008 e SCHMILDT et al., 2014). Entretanto, não foram encontrados na literatura trabalhos para a determinação de área foliar de mudas de cafeeiro.

Objetivou-se testar, por meio de modelos matemáticos, equações que correlacionem as maiores larguras (L) e comprimentos (C), além da área do retângulo que circunscreve a folha, obtida por meio do produto (CL), para a estimativa de área foliar de mudas de cafeeiro da cultivar Mundo Novo LCP 379-19.

MATERIAL E MÉTODOS

Após a aquisição das 30 mudas de cafeeiro da cultivar Mundo Novo LCP 379-19 na EPAMIG, em Machado, as folhas foram colhidas e sua área estimada por meio do medidor eletrônico de área foliar portátil, CID Bio Science, modelo CI-203. Para tanto, o medidor foi calibrado com um quadrado de área conhecida. Após a determinação da área foliar observada (AFO), foram feitas medições das folhas relativas às maiores larguras e comprimentos, por meio de régua milimetrada. A

largura foi obtida na região central da folha, com a régua colocada transversalmente à nervura central e o comprimento do limbo foliar obtido com a régua paralela à nervura central, procedendo-se à leitura a partir do ápice foliar até a base de inserção do pecíolo. E a área do retângulo que circunscreve o limbo foliar, em cm^2 , foi estimada pelo produto entre a largura e o comprimento do limbo foliar.

Para o estabelecimento dos modelos matemáticos foram considerados os modelos linear, potência e exponencial; foram ajustadas nove equações de regressão da área foliar das mudas de cafeeiro, onde representou, a cada ajuste, o maior comprimento (C), a maior largura (L) e o produto comprimento pela largura (CL), portanto, foram considerados como variáveis independentes; a área foliar observada (AFO) como variável dependente; e são os parâmetros estimados por meio dos ajustes e, o erro devido ao ajuste.

Para a obtenção das nove equações e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), utilizou-se 80% das folhas, ainda foram determinados o erro absoluto médio (\bar{e}), a raiz do quadrado médio do erro e o índice d de Willmott (WILMONTT, 1981), em que são os valores estimados de área foliar; e os valores observados de área foliar; a média dos valores observados; é o número de folhas.

A validação dos modelos foi realizada com base nos valores estimados por meio do modelo (e dos valores observados () nos 20% das folhas, escolhidas aleatoriamente. Para cada modelo, foi ajustada uma regressão linear simples da área foliar estimada pelo modelo (, aqui tomada como variável dependente em função da área observada (), considerada variável independente; os parâmetros coeficiente linear e coeficiente angular foram estimados pelo ajuste. Para os dados da validação, também foram calculados o EAM, a RQME, o índice de Willmott e a representação gráfica do erro médio da área estimada em relação à área observada

A seleção da equação que melhor estima a área foliar em função de C, L ou CL, foi feita com base nos critérios: coeficiente linear não diferente de zero, coeficiente angular diferente de um, EAM, RQME e mais próximos de zero e índice d de Willmott mais próximo de um.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel 2007.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As folhas coletadas apresentaram grande variabilidade para as quatro variáveis resposta em estudo (comprimento – C, largura – L, produto comprimento, largura – CL e área foliar observada com o medidor eletrônico de área foliar portátil, CID Bio Science, modelo CI-203 – AFO). Na tabela 1, pode-se observar que a variabilidade foi maior nos 20% das folhas utilizadas para a validação do modelo, o mesmo padrão foi observado por Schmildt et al. (2014), trabalho no qual os autores afirmaram que obtiveram elevados valores de amplitude dos dados, no estudo de área foliar por modelos matemáticos.

Tabela 1 – Mínimo, máximo, média comprimento (C, em cm), largura (L, em cm) e produto (CL, em cm²) do limbo foliar e área foliar observada (AFO), para mudas de meio ano cafeeiro Mundo Novo LCP 379-19.

Variável	Mínimo	Máximo	Média
80% das folhas utilizadas para a obtenção das equações de estimativa			
C	3,00	11,50	7,56
L	1,50	5,50	3,45
CL	6,00	60,50	27,15
AFO	4,44	63,61	16,19
20% das folhas utilizadas para a validação dos modelos			
C	4,20	11,30	7,74
L	2,20	5,30	3,58
CL	10,08	59,89	28,83
AFO	6,72	32,90	17,03

As nove equações obtidas neste trabalho, com 80% das mudas avaliadas, são representadas na Tabela 2, onde também pode ser verificado que o coeficiente de correlação (R^2) variou entre 0,5655 para os dados de L, no modelo linear, a 0,8091 para dados de CL, no modelo potência; este padrão também foi observado no trabalho de Schmildt et al. (2014).

Ao analisar as estimativas de EAM e RQME, que devem estar mais próximos de zero, ambas foram estimadas para as equações derivadas do produto CL, o EAM (1,84) para a forma potência e RQME (4,02) para a forma linear.

A estimativa de d de Willmott deve estar próxima à unidade, também as equações obtidas para o produto CL (0,97) apresentam diferenças apenas na casa dos milésimos, para os três modelos testados. Esta seleção do produto CL também foi encontrada por diversos autores para a estimativa de folhas de café adulto (ANTUNES et al., 2008; AWATRAMANI; GOPALAKRISHNA, 1965; BARROS et al.,

1973; FLUMIGAN; ADAMI; FARIA, 2008; REY; ALVAREZ, 1991; SILVA; LEITE; FERREIRA, 2008 e SCHMILDT et al., 2014).

Tabela 2 – Estimativa da área foliar, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente linear (a) e coeficiente angular (b), erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e d índice de Willmott, estudados para os modelos propostos, para mudas de meio ano de cafeeiro Mundo Novo LCP 379-19.

Equação	R^2	EAM	RQME	d		
$y = 2,8974C - 5,7085$	0,5655	2,50	4,53	0,84	2,897	5,7085
$y = 1,0836C^{1,3171}$	0,7061	2,38	4,54	0,93	1,083	1,3171
$y = 3,5274e^{0,191C}$	0,7252	2,30	4,51	0,84	3,527	0,1910
$y = 7,4295L - 9,4272$	0,6261	2,26	4,20	0,92	7,429	9,4272
$y = 2,254L^{1,5581}$	0,7619	2,12	4,16	0,91	2,254	1,5581
$y = 2,8316e^{0,4823L}$	0,7788	2,03	4,10	0,92	2,831	0,4823
$y = 0,4942CL + 2,7693$	0,6575	1,86	4,02	0,97	0,494	2,7693
$y = 1,1894CL^{0,7893}$	0,8091	1,84	4,07	0,97	1,189	0,7893
$y = 6,3344e^{0,0316CL}$	0,7929	1,92	4,14	0,97	6,334	0,0316

Ao fazer a validação, a partir dos 20% das folhas sorteadas aleatoriamente, os coeficientes lineares (a) e angulares (b) obtidos foram diferentes de um e zero respectivamente, assim, não houve restrição a nenhum modelo por estes critérios (Tabela 2). Passando aos critérios, EAM, RQME e d, o modelo linear obtido com o produto CL foi o que obteve as melhores classificações.

A escolha da equação que mais se adequou para a estimativa de área foliar nas mudas por meio do erro médio (d) pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Erro médio da área estimada em relação à área observada na validação em folhas individuais de café Mundo Novo LCP 379-19, as colunas representam as médias e as barras os erros médios estimados.

Pode-se perceber que as médias estimadas das área foliar de muda de cafeeiro cultivar Mundo Novo LCP 379-19, apresentaram pouca amplitude se comparadas com a média de AFO, área das folhas obtidas com o medidor de área foliar. O menor foi obtido para a equação linear que adotou como variável independente o produto CL.

CONCLUSÕES

As melhores estimativas para área foliar de mudas de cafeeiro Mundo Novo LCP 379-19 são obtidas com o uso do retângulo que circunscribe a folha, obtido pelo produto comprimento largura. Os critérios adotados permitiram selecionar como melhor equação a $y = 0,4942CL + 2,7693$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, J. A. T. do et al. Métodos de análise quantitativa do crescimento de plantas. In: FERREIRA, A. et al. (Ed). **Tópicos especiais em produção vegetal I**. Alegre: CCA-UFES, 2009. p. 259-276.
- ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea Arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of applied Biology**, Warwick, v. 153, p. 33-40, 2008.
- AWATRAMANI, N. A.; GOPALAKRISHNA, H. K. Measurement of leaf area in coffee: I., *Coffea Arabica*. **Indian Coffee**, Bangalore, v.29, n. 1, p. 25-30, 1965.
- BARROS, R. S. et al. Determinação de área de folhas de café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon Amarelo). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.
- FLUMIGAN, D. L.; ADAMI, M.; FARIA, R. T. Área foliar de folha íntegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital. **Coffee Science**, Lavras, v.3, n. 1, p. 1-6, jan./jun. 2008.
- ILKAE, M. N. et al. Prediction model of leaf area in soybean (*Glycine max* L.). **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, Saint Paul, v. 6, n. 1, p. 110-113, 2011.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, R. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ/USP, 1997. 70p.
- REY, R.; ALVAREZ, P. Evaluación de diferentes ecuaciones de regresión en la estimación del área foliar del café en vivero a partir de sus medidas lineales. **Agrotecnia de Cuba**, Lucknow, v. 30, n.5, p. 785-790, 2009.
- SILVA, A. R.; LEITE, M. T.; FERREIRA, M. C.; **Estimativa da Área Foliar e Capacidade de Retenção de Calda Fitossanitária em Cafeeiro**. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 66-73, July/Sept. 2008.
- SILVA, A. R.; LEITE, M. T.; FERREIRA, M. C. Estimativa de área foliar e capacidade de retenção de calda fitossanitária em cafeeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n.3, p. 66-73, 2008.
- SCHMILDT, E. R. et al. Análise comparativa de equações para estimativa da área foliar em cafeeiros. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 155-167, abr./jun. 2014.
- TOEBE, M. et al., Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de dimensões foliares. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2491-2500, 2012. Suplemento.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Norwich, v. 2, p. 184-194, 1981.