

**AJUSTE DE MODELO DE PREDIÇÃO DE ÁREA FOLIAR DO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DE MEDIDAS LINEARES**

Anderson Takashi Hara¹, Antônio Carlos Andrade Gonçalves², André Maller³, Heraldo Takao Hashiguti⁴ & Jhonatan Monteiro de Oliveira⁵

1 - Doutor em agronomia, Engenheiro Agrônomo, UEM/Maringá, PR., E-mail. haratakashi1987@gmail.com

2 - Doutor, Professor, Engenheiro Agrícola, UEM/Maringá, PR, E-mail. goncalves.aca@gmail.com

3 - Doutor em agronomia, Engenheiro Agrônomo, UEM/Maringá, PR., E-mail. anmaller@hotmail.com

4 - Doutor em agronomia, Engenheiro Agrônomo, UEM/Maringá, PR., E-mail. htakaoh@hotmail.com

5 - Mestre em agronomia, Engenheiro Agrônomo UEM/Maringá, PR., E-mail. jhonatan25monteiro@gmail.com

Palavras chave:

dimensões foliares
erro sistemático
método não destrutivo

RESUMO

O conhecimento da área foliar em estudos agrônomicos é essencial em pesquisas que envolvem interrelações com outras variáveis relacionadas com essa variável, como a produtividade, produção de fotossimilados, absorção de nutrientes. No entanto, em muitos casos torna-se inviável o procedimento em decorrência da necessidade de destruição do material a ser medido. Portanto, a utilização de métodos indiretos que possibilitem a estimativa dessa variável é uma alternativa para a obtenção da área foliar sem sua destruição. O objetivo deste trabalho foi o de ajustar modelos matemáticos para estimar a área do trifólio de feijão, cultivar IPR Tangará, por meio de medidas lineares do folíolo central e comparar com o desempenho de modelos retirados na literatura. Foram utilizados 1.195 trifólios para o ajuste de modelos e 527 para validação. A área foliar da cultivar IPR tangará pode ser predita por meio de medidas do comprimento e largura do trifólio central. Modelos ajustados para uma determinada cultivar não podem ser utilizados em outras cultivares.

Keywords:

leaf dimensions
systematic error
non-destructive method

ADJUSTMENT OF BEAN LEAF AREA PREDICTION MODEL AS A FUNCTION OF LINEAR MEASUREMENTS**ABSTRACT**

Knowledge of the leaf area in agronomic studies is essential in research involving interrelations with other variables related to this one, such as productivity, photosimilitude production, nutrient absorption. However, in many cases the procedure is unfeasible due to the need to destroy the material to be measured. Therefore, the use of indirect methods that allow the estimation of this variable is an alternative to obtain the leaf area without its destruction. The objective of this work was to adjust mathematical models to estimate the area of bean trefoil, an IPR Tangará cultivar, through linear measurements of the central leaflet and to compare it with the performance of models retrieved from literature. 1195 bean trefoils were used for model adjustment and 527 for validation. The leaf area of the IPR Tangará cultivar can be predicted by measurements of the length and width of the central trefoil. Models adjusted for a particular cultivar cannot be used in other cultivars.

INTRODUÇÃO

A área foliar é uma variável empregada para se avaliar o crescimento das plantas, sendo comumente utilizada em estudos agrônômicos e fisiológicos (ZUCOLOTO *et al.*, 2008). Existem várias maneiras de mensurar a área foliar em condições de campo e de laboratório, as quais podem ser destrutivas ou não.

O método destrutivo exige a retirada da folha ou outras estruturas, o que muitas vezes não é possível devido à limitação do número de plantas na parcela experimental (ADAMI *et al.*, 2008). O método não destrutivo permite acompanhar o crescimento e a expansão foliar da mesma planta até o final do ciclo ou do ensaio, além de ser rápido e preciso (BLANCO *et al.*, 2002). A realização de estimativas de área foliar por meio de modelos matemáticos envolvendo medidas lineares é um método não destrutivo, de aplicação relativamente simples, que tem produzido bons resultados (BLANCO e FOLEGATTI, 2003). Esses modelos podem ser obtidos correlacionando a área foliar com medidas do comprimento, largura e combinações lineares destas. O emprego desse método é relativamente simples e fácil, não demandando o emprego de equipamentos de custo elevado, além de apresentar a vantagem de ser não destrutivo.

Embora esse método apresente expressivas vantagens, QUEIROGA *et al.* (2003) salientam que a área foliar depende não apenas das medidas lineares da folha, utilizadas no ajuste de um modelo, mas também depende do formato da folha, o qual varia durante o ciclo da planta. Ao se buscar um modelo para estimativa da área foliar, é usual, pela semelhança morfológica foliar, que sejam utilizados modelos ajustados para cultivares ou mesmo para espécies distintas em relação à planta em estudo. Dessa forma, os pesquisadores ignoram a possibilidade da incompatibilidade do modelo para as plantas objeto de estudo, podendo obter informações inconsistentes no processo da estimativa.

A precisão de um modelo pode ser quantificada por meio do coeficiente de correlação (r). Esses coeficientes indicam o grau de dispersão dos dados obtidos, ou seja, o erro aleatório (CAMARGO e CAMARGO, 2000). Os coeficientes de correlação

poderão indicar alta precisão da estimativa, embora tenham possibilidade de apresentar vício de origem, com grande erro sistemático, podendo resultar em informação precisamente errada (CAMARGO e CAMARGO, 2000).

A exatidão de um modelo pode ser quantificada por meio do índice (d), denominado de coeficiente de concordância ou exatidão (WILLMOTT *et al.*, 1981). Vários autores avaliam a exatidão de modelos de regressão por meio do índice (d), como em nabo forrageiro (FILHO *et al.*, 2012b); feijão porco (TOEBE *et al.*, 2012); soja (ADAMI *et al.*, 2008); café (FLUMIGNAN *et al.*, 2008); tomate (BLANCO e FOLEGATTI, 2003) e pepino (NIED *et al.*, 2001). Esse índice apresenta valor entre 0 e 1. O coeficiente 0 expressa nenhuma concordância e 1 expressa a concordância perfeita entre os valores estimados e medidos.

O índice de confiança (c) é obtido pelo produto de (r) e (d) (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). Por meio do índice, é possível quantificar a qualidade do ajuste do modelo, em termos de precisão e exatidão.

O objetivo deste estudo foi o de ajustar e avaliar a qualidade de diferentes modelos que permitam estimar a área do trifólio de *Phaseolus vulgaris* L., utilizando medidas lineares do folíolo central e combinações das medidas lineares do folíolo central com a variável soma térmica.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do presente trabalho, foi conduzida a cultura do feijão no Centro Técnico de Irrigação da Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, em um NITOSSOLO Vermelho distroférico. Utilizou a cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) IPR Tangará, grupo carioca, com hábito de crescimento indeterminado e ciclo médio de 87 dias a partir da emergência (IAPAR, 2012). A semeadura foi realizada no dia 13 de março. Adotou-se um espaçamento de 0,50 m na entrelinha e 12 plantas por metro na linha, totalizando 24 plantas por metro quadrado. A área experimental apresentava dimensões de 13x13 m, com um aspersor em cada vértice dessa área. A emergência da cultura ocorreu dia 20 de março, com a emissão do primeiro trifólio no dia 1 de

abril. A adubação de cobertura foi feita no dia 13 de abril. A irrigação foi realizada a cada 2 dias, desde a semeadura até a emissão do primeiro trifólio. Posteriormente, adotou como critério para irrigação o momento quando a tensão de água no solo situava-se em -50 kPa. A tensão de água no solo foi determinada por meio de um tensiômetro instalado a 0,20 m de profundidade do solo. A adubação foi realizada conforme a recomendação de IAPAR (2003).

A coleta dos dados foi realizada entre os dias 3 de abril de 2012 e 30 de maio, em 19 dias do mês de abril e em 11 dias do mês de maio, de forma alternada. Em cada dia foram coletadas 10 plantas de forma aleatória na área experimental. Todos os trifólios íntegros de cada planta foram processados, compondo um total de 1.722 dados experimentais. Para cada trifólio processado foi medido a área (cm²), o comprimento (cm) e largura (cm) do folíolo central. Para a medida do comprimento, foi considerado o espaço entre as extremidades da inserção do pecíolo e o final da nervura central. Para a medida da largura, tomou-se a maior medida perpendicular à nervura central.

A área foliar do trifólio foi determinada por meio do método da imagem digital, utilizando o *software* QUANT (VALE *et al.*, 2003).

O método da imagem digital consiste na captura das imagens das folhas de feijão planejadas com um fundo de cor branca, sendo as imagens processadas no *software*, obtendo-se a área foliar medida (AFM). Para a fotografia das imagens foi utilizada uma câmera fotográfica digital Sony P100, 5,1 mega pixels, sendo esta fixada em uma estrutura de madeira para a fotografia das folhas planejadas. A distância entre a máquina fotográfica e as folhas planejadas, foi de 0,25 m. Para proceder à planificação das folhas, foram utilizadas duas lâminas de vidro com dimensões de 0,30 x 0,30 m e espessura de 5 mm. Mais detalhes da metodologia podem ser obtidas nos trabalhos de MALLER *et al.* (2013) e ADAMI *et al.* (2008).

Foi calculada a soma térmica (G) por meio de medidas das temperaturas máximas e mínimas diárias sendo os dados oriundos de uma estação climatológica automática localizada a 200 metros

da área experimental. A temperatura base inferior do feijoeiro, adotada para o cálculo da soma térmica (G) foi de 10 °C (MEDEIROS *et al.*, 2000).

Foram utilizados 1.195 dados para o ajuste dos modelos e 527 para a validação, selecionados de forma aleatória. O domínio da variável independente para o ajuste dos modelos apresentou intervalos de 2 a 12 cm para o comprimento; 1,3 a 9,0 cm para a largura e 232,6 a 843,1 para G.

Considerando-se a área do trifólio medida (AFM) como variável dependente e as variáveis G, o comprimento e a largura do folíolo central como variáveis independentes, dentre 20 modelos testados previamente, foram selecionados quatro modelos com maior R² (Equação 1, 2, 3, 4), sendo estes apresentados abaixo:

$$AFM = a + bL \quad (1)$$

$$AFM = a + bL + cL^2 \quad (2)$$

$$AFM = a + bCL \quad (3)$$

* (4)

em que,

AFM = área do trifólio medida (cm²);

L = largura do folíolo central (cm);

C – comprimento do folíolo central (cm);

G = Soma térmica; e

a, b, c, d, e, f, g, h = coeficientes do modelo.

Os coeficientes dos modelos foram validados pelo teste “t” adotando um nível de significância de 5%.

Na etapa de avaliação e validação dos modelos ajustados, os modelos de TOEBE *et al.* (2012) (5) e modelo de QUEIROGA *et al.* (2003) (6) foram utilizados com o objetivo de comprovar o quesito de especificidade dos modelos ajustados. O modelo 5 apresenta a seguinte equação: $Y=3,7046x^{1,8747}$, em que Y é a área foliar do trifólio (cm²) de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), e x é a largura (cm) do folíolo central. O modelo 6 apresenta a seguinte equação: $Y=0,1026x^{1,6871}$, em que Y é a área foliar do trifólio (cm²) de feijão vagem (*Phaseolus*

$$* AFM = a + bC + cCL + dCG + eLG + fCL^2G + gC^2LG + hC^2G \quad (4)$$

vulgaris L.), e x é a largura do folíolo central (mm).

Foi realizada a avaliação da qualidade dos modelos utilizando-se análise gráfica da área foliar medida (AFM) em relação à área foliar estimada (AFE), determinação do coeficiente de correlação (r), do índice de exatidão (d) e do índice de confiança (c).

Por meio da diferença entre a área foliar medida (AFM) e área foliar estimada (AFE) de cada modelo, foi obtido o desvio, compreendendo o erro associado à medida (DESV). Foi realizado um teste do DESV para detecção da possibilidade de o DESV do modelo apresentar um componente determinístico. Esse teste foi comprovado por meio da significância dos coeficientes da equação ajustada, utilizando DESV em função da AFM, sendo os coeficientes validados pelo teste “ t ” adotando um nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentada a análise estatística descritiva do DESV dos modelos. Verifica-se que, para o modelo 3, o valor médio do erro é o mais próximo a zero, subestimando os valores de área foliar. Os modelos 5 e 6 apresentaram os maiores erros no processo de estimativa, em média, como também maior amplitude considerando-se os valores mínimo e máximo.

Na Figura 2 é apresentada a relação da área foliar medida em relação à área foliar estimada. Pode-se observar que todos os modelos apresentaram pequena dispersão dos pontos em relação ao modelo ajustado, sendo que o menor coeficiente de determinação do modelo foi de 92,72%. Esses resultados mostram que todos os modelos apresentaram uma elevada precisão no processo de estimativa da área foliar, sendo constatados também nos trabalhos de TOEBE *et al.* (2012) e LIMA *et al.* (2008) para cultura de feijão.

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes “ r ”, “ d ” e “ c ” dos modelos. Ao avaliar a precisão do modelo por meio do coeficiente r , pode-se observar que os modelos 3 e 4 apresentaram os melhores desempenhos, com valores superiores a 0,98. Ao se avaliar a exatidão, novamente os modelos 3 e 4 foram superiores aos demais

comprovados pelo índice de exatidão (d), que por sua vez também apresentaram os maiores índices de confiança (C). Portanto, os modelos 3 e 4 se destacam dos demais, em relação ao desempenho, no quesito exatidão e precisão.

Na Figura 3 é apresentado o DESV dos modelos em função da AFM. Para os modelos 1, 2, 5 e 6, foi possível o ajuste de uma equação polinomial de segundo grau, como pode ser observado nas Figuras 3A, 3B, 3E e 3F. Os coeficientes da equação foram significativos a 5%. Essa análise comprova que os modelos mencionados apresentam um componente determinístico para o DESV, apresentando heterocedasticidade do DESV.

De acordo com as Figuras 3A, 3B, 3E e 3F, fica evidente que a utilização da largura da folha como variável independente no modelo promove erros significativos na predição da área foliar.

Ao avaliar a precisão, exatidão e a homocedasticidade dos diferentes modelos, conclui-se que os modelos 3 e 4 foram superiores aos demais. Contudo, apesar de o modelo 4 utilizar a variável independente G , essa variável pouco contribuiu para a melhoria do modelo, uma vez que houve um acréscimo de três centésimos do índice (d). Dessa forma, é preferível a utilização do modelo 3 devido a sua qualidade e maior simplicidade no quesito operacional. Diversos trabalhos apontam que os melhores modelos ajustados são aqueles que utilizam o produto do comprimento e largura da folha, sendo válidos para diferentes espécies vegetais, como em *Crotalaria juncea* L. (CARDOZO *et al.*, 2011); pessegueiro (SACHET *et al.*, 2015); *Euphorbia heterophylla* (DUARTE *et al.*, 2009); *Vicia faba* L. (PEKSEN, 2007); *Urochloa mosambicensis* (LEITE *et al.*, 2017) e nabo forrageiro (FILHO *et al.*, 2012a).

Considerando-se os modelos externos, o modelo 6 apresentou um desempenho superior ao modelo 5 de acordo com o índice de confiança. Esse resultado comprova que o padrão morfológico das folhas difere drasticamente entre as espécies de feijão, uma vez que o modelo 6 utilizou a espécie *Phaseolus vulgaris* L. e o modelo 5 utilizou a espécie *Canavalia ensiformis*.

Tabela 1. Momentos estatísticos do DESV dos modelos

Modelo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
	cm ²			
1	0,90	0,01	-45,92	31,14
2	1,15	-0,13	-40,42	37,55
3	-0,53	-0,57	-16,06	15,09
4	-0,22	-0,19	-18,32	14,58
5	-17,84	-16,19	-61,97	19,42
6	-15,14	-14,32	-59,27	20,01

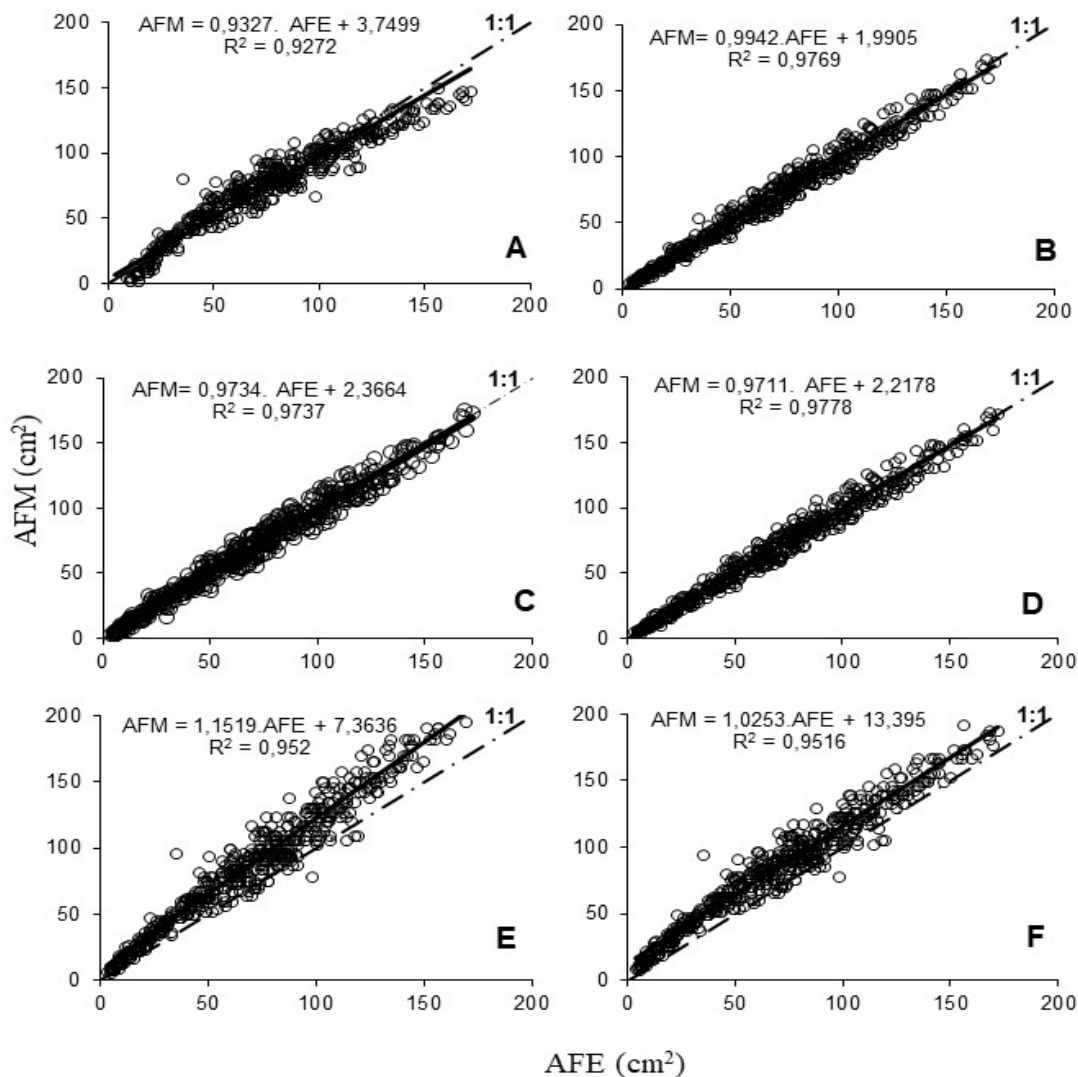


Figura 2. Área foliar medida em função da estimada, dos modelos 1(A) 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E) e 6 (F).

Tabela 2. Valores do coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), e índice de confiança (c) considerando-se os pares de dados AFM e AFE

Modelo	r	d	c
1	0,963	0,981	0,944
2	0,975	0,987	0,962
3	0,987	0,993	0,980
4	0,989	0,994	0,983
5	0,976	0,940	0,917
6	0,976	0,953	0,930

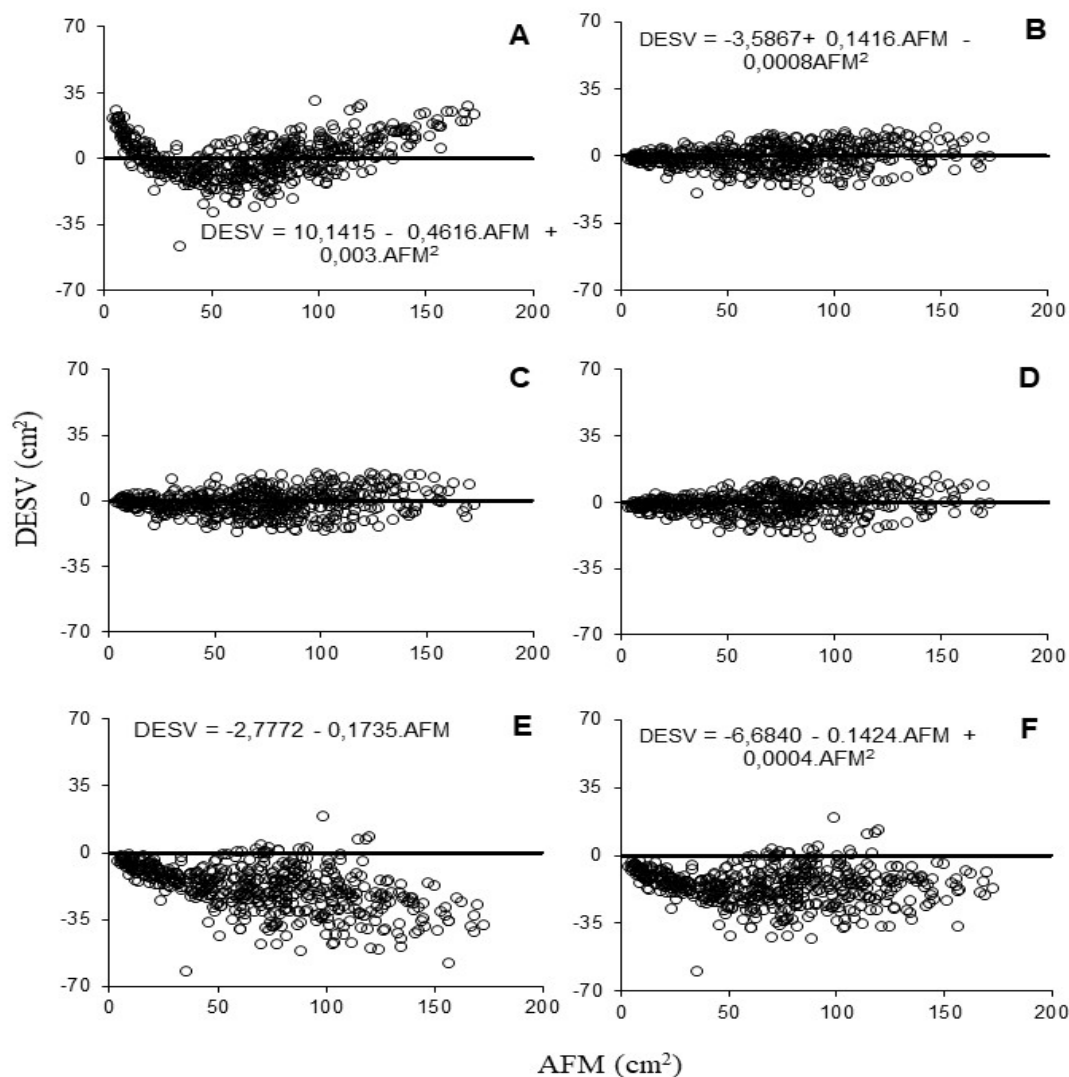


Figura 3. DESV em função da AFM dos modelos 1(A) 2 (B), 3 (C), 4 (D), 5 (E) e 6 (F).

CONCLUSÃO

- A área do trifólio do feijoeiro IPR Tangará pode ser estimada pela seguinte expressão: $AFM = -2,20042 + 1,77534.C.L$; sendo AFM a área foliar do trifólio medida (cm²); C, o comprimento do folíolo (cm), e L, a largura (cm).
- Modelos matemáticos apresentam excelentes resultados para estimativa da área foliar de feijão, desde que utilizados para a mesma cultivar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, M.; HASTENREITER, F.A.;

FLUMIGNAN, D.L.; DE FARIA, R.T. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.1053-1058, 2008.

BIANCO S.; PITELLI, R.A.; Carvalho, L.B. Estimativa da área foliar de *Cissampelos glaberrima* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v.20, p.353-356, 2002.

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.

CAMARGO A.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**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CARDOZO, N.P.; PARREIRA, M.C.; AMARAL, C.L.; ALVES, P.L.C.A.; BIANCO, S. Estimativa da área foliar de *Crotalaria juncea* L. a partir de dimensões lineares do limbo foliar. **BioScience Journal**, Uberlândia, v.27, n.6, p.902-907, 2011.

DUARTE, D.J.; BIANCO, S.; LEONARDO, B.C.; PANOSSO, A.R. Estimativa da área foliar de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-531, 2009.

FILHO, A.C.; TOEBE, M.; BURIN, C.; FICK, A.L.; GAVRIELE, C. Estimativa da área foliar de nabo forrageiro em função de dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.1, p.47-51, 2012 b.

FILHO, A.C.; TOEBE, M.; BURIN, C.; FICK, A.L.; NEU, I.M.M.; FACCO, G. Estimativa da área foliar de mucuna cinza por meio de método não destrutivo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.2, p.238-242, 2012 a.

FLUMIGNAN, D.L., ADAMI, M., FARIA, R.T. Área foliar de folhas íntegras e danificadas de cafeeiro determinada por dimensões foliares e imagem digital. **Coffee Science**, Lavras, v.3, n.1, p.1-6, 2008.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Principais características das cultivares de feijão com sementes disponíveis no mercado**, 2012, 2 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**, 2003, 17p.

LEITE, M.L.M.V.; LUCENA, L.R.R.; JÚNIOR, E.H.S.; CRUZ, M.G. Estimativa da área foliar em

Urochloa mosmbicensis por dimensões lineares. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v.38, n.1, p.9-16, 2017.

LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; OLIVEIRA FILHO, A.F. Modelos matemáticos para estimativa da área foliar de feijão caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.1, p.120-127, 2008.

MALLER, A.; REZENDE, R.; FREITAS, P.S.L.; HARA, Â.T.; OLIVEIRA, J.M. Ajuste, validação e comparação entre modelos preditores de área foliar da abobrinha italiana. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17, p.71-81, 2013.

MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; FUJIWARA; M. BONI, N.R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dias acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1733-1742, 2000.

NIED, A.H.; DALMAGO, G.A.; HELDWEIN, A.B.; WILSMANN, S. Modelos para determinação não-destrutiva da área das folhas do pepineiro cultivado em estufa plástica. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.7, n.1, p.15-26, 2001.

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.

SACHET, M.R.; PENSO, G.A.; PERTILLE, R.H.; GUERREZI, M.T.; CITADIN, I. Estimativa da área foliar de pessegueiro por método não-destrutivo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.12, p.2161-2163, 2015.

TOEBE, M.; FILHO, A.C.; BURIN, C.; FICK, A.L.; MARIO, I.; NEU, M.; CASAROTTO, G.; ALVES, B.M. Modelos para a estimativa da área foliar de feijão de porco por dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.1, p.37-41, 2012.

HARA, A. T. *et al.*

VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.I.F.; LIBERATO, J.R. Quant – **A software for plant disease severity assessment**. International Congress of Plant Pathology, 8. Christchurch, ISPP, 2003, 105p.

WILLMOTT, C.J. **On the validation of models.**

Physical Geography, v.2, 1981, 184-194p.

ZUCOLOTO, M.; LIMA, J.S.S.; COELHO, R.I. Modelo matemático para estimativa da área foliar total de bananeira ‘Prata-Anã’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.1152-1154, 2008.