

## UM MODELO PARA ESTIMAR O ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DO MILHO BASEADO EM GRAUS-DIAS

MARINE CIRINO GROSSI<sup>1</sup>, MARCELO CID DE AMORIM<sup>2</sup>; LUIZ CLÁUDIO  
COSTA<sup>3</sup>, GILBERTO CHOHAKU SEDIYAMA<sup>3</sup>, MARIA EMÍLIA B. ALVES<sup>4</sup>

(1) Estudante de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, DEA, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa – MG. Bolsista/PIBIC/FAPEMIG. Fone: +55 (31) 3899.1890, e-mail: marinegrossi@ufv.br. (2) Engenheiro Agrônomo, Dr. em Meteorologia Agrícola, pós-doutorando, EMBRAPA/CNPMS/FAPEMIG. (3) Professor, PQ/CNPq, DEA/UFV. (4) Engenheira Agrícola, MS, doutoranda em Meteorologia Agrícola UFV/DEA/FAPEMIG.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de  
Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e  
Convenções - Belo Horizonte, MG.

**RESUMO:** O índice de área foliar (IAF) é uma medida ecofisiológica determinante na definição das fases de crescimento e desenvolvimento de plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi propor um modelo, baseado no conceito de graus-dias (GD), que simule o IAF durante o ciclo do milho em condições de sequeiro. Na validação, foram utilizadas medidas de IAF do híbrido Agromen conduzido em lisímetros no campo experimental da UFV/Viçosa (MG), de outubro de 2002 a fevereiro de 2003. Os resultados indicaram, baseando-se no  $r^2 = 0.99$ , que o modelo simula com qualidade a evolução do IAF e as fases do desenvolvimento do milho. Todavia, em função das condições climáticas, os valores do IAF máximo, medido e simulado, diferiram significativamente. No estudo, as imprecisões estatísticas foram expressas através do índice concordância de Willmott (d) igual 0.84 e erros elevados. Deste modo, conclui-se que o modelo tem habilidade de expressar a evolução do IAF e caracterizar as fases do desenvolvimento do milho. No entanto, as condições climáticas, entre o IAF medido e simulado, além de elevar os erros, não foram satisfatórias ao processo de validação. Um fator de correção de 1,5 adequou à diferença de ambientes e amenizou os erros.

**PALAVRAS-CHAVE:** índice de área foliar; milho; validação.

## A MODEL TO ESTIMATE THE LEAF AREA INDEX OF MAIZE BASED ON DEGREE DAYS

**ABSTRACT:** The leaf area index (LAI) is an ecophysiological measure used for defining the stages of growth and development of plants. The objective of this work was to propose a model, based on the concept of degree days (DD), which simulates the LAI during the cycle of maize in the dry land conditions. For validation, we used measures of hybrid Agromen LAI that was conducted in lysimeters in the experimental field of UFV/Viçosa (MG), from October 2002 to February 2003. The results showed, based on  $r^2 = 0.99$ , the model simulates, with quality, the LAI evolution and the phases of the development of maize. However, depending on weather conditions, the values of maximum LAI, measured and simulated, differ significantly. In this study, the statistical inaccuracies were expressed through the Willmott index of agreement (d) of 0.84 and higher errors. Thus it appears that the model has ability to express the evolution of the LAI and characterize the phases of the development of maize. However, climatic conditions, between the simulated and measured LAI, in addition to raise the errors, undermined the process of validation. In this case, application of the correction factor is important to adjust to the environments and diminish errors.

**KEY WORDS:** leaf area index; maize; validation.

**1. INTRODUÇÃO:** O índice de área foliar (IAF,  $m^2 m^{-2}$ ) é a relação entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura. Certamente, é uma das medidas ecofisiológicas mais importante na definição das fases de crescimento e desenvolvimento de plantas. Em agricultura, por exemplo, os valores de IAF assumem grande valor para estimar fluxos e outras demandas como a evapotranspiração. O IAF está relacionado com a produtividade das culturas, pois a fotossíntese, que depende da área foliar, é responsável pela interceptação da energia luminosa e da sua conversão em energia bioquímica. O processo de transpiração das plantas também está intrinsecamente relacionado com a área foliar, pois as folhas são os principais órgãos envolvidos neste processo. No entanto, para se fazer a determinação do IAF geralmente é necessária o emprego de métodos destrutivos que demandam tempo e dinheiro para a realização dos experimentos, o que muitas vezes, os tornam inviáveis em termos práticos. Como alternativa para a obtenção de informações necessárias ao planejamento agrícola, surgem os modelos matemáticos. Neste sentido, as definições de valores racionalizam a produção permitindo maior aproveitamento dos recursos naturais, favorecendo o planejamento de atividades ao nível de propriedade e o zoneamento agrícola ao nível de região (FANCELLI & DOURADO-NETO, 1999). Por fim, entre as culturas agrícolas de Minas Gerais, o milho merece destaque pela sua grande importância socioeconômica. Assim, o objetivo deste trabalho foi propor um modelo prático, baseado no conceito de graus-dias (GD), que simule o IAF durante o ciclo do milho em condições de sequeiro.

**2. MATERIAL E MÉTODOS:** Para o estudo, foram utilizados registros meteorológicos do 5º Distrito de Meteorologia do INMET, integrados a partir dos postos meteorológicos presentes na mesorregião da Zona da Mata Mineira. O período foi entre 2002 e 2003 e os dados sistematizados foram: velocidade do vento, radiação global, precipitação, evapotranspiração de referência [Penman-Monteith (FAO)] e temperaturas máxima e mínima. Os valores de IAF foram simulados através do programa DSSAT-V.4.5. (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) que associados ao tipo de manejo simulam crescimento, produção e rendimento das principais culturas agrícolas. Para tornar as simulações mais realísticas foram tomados aspectos edáficos determinante da região; adubação química em dosagem minimamente recomendada (COELHO et al., 2002) e a densidade de plantio de 60.000 plantas/ha e, por fim, os coeficientes genéticos referente ao híbrido Agromen (WOLSCHICK, 2004). O programa DSSAT simula o ciclo de IAF por meio do balanço e partição de carbono. Para tanto, são utilizadas funções de crescimento e complexas relações entre a planta e o próprio ambiente. Nesta ordem, a partir da definição da época de plantio, foram acumulados os graus-dias nos dias após a emergência (DAE) finalizando na fase final da senescência. Os valores de graus-dia foram obtidos a partir das séries de temperatura máxima e mínima inseridas na seguinte equação:

$$GD = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{(T_{max_i} + T_{mín_i})}{2} - T_b \right] \quad \text{Eq.1}$$

em que,  $T_{max_i}$  e  $T_{mín_i}$  se referem, respectivamente às temperaturas máxima e mínima do ar ( $^{\circ}C$ ) diárias observadas no local, e  $T_b$  é a temperatura basal inferior do milho igual  $10^{\circ}C$ . Para gerar o modelo simplificado, foram associados os valores de IAF simulado no DSSAT aos valores acumulados dos graus-dia durante o ciclo da cultura. Neste sentido, foram testadas várias concepções matemáticas, principalmente, modelos que expressam curvas de crescimento. Para efeito de comparação foram utilizados registro

de IAF medidos na estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa (MG). O híbrido de milho utilizado foi Agromen semeado em lisímetros de drenagem e conduzida de forma a atingir a produção potencial (WOLSCHICK, 2004). No estudo, a validação do modelo seguiu recomendações de WILLMOTT (1981), ou seja: **[I]** Estimar os parâmetros “a e b” de ajustes, pelo procedimento dos mínimos quadrados – regressão linear simples que auxiliam na decomposição dos erros sistemáticos e não-sistemáticos (JONES, 1979; MARK e PEUCKER, 1978; SHULER, 2007) – Equações (2) e (3); **[II]** Estimar MBE (viés) e o erro absoluto (MAE), equações (4) e (5); **[III]** Em simulações, erros sistemáticos e não-sistemáticos devem ser discriminados. A magnitude dos erros está inserida no erro quadrático médio (MSE). Contudo, quando os valores observados ( $O_i$ ) e simulados ( $P_i$ ) apresentam o mesmo valor escalar é conveniente estimar a raiz do erro do quadrático médio (RMSE). De fato, o RMSE é um critério refinado na avaliação de performance, pois, informa a dimensão do erro produzido pelo modelo. De forma análoga, dimensionar erros sistemáticos (MSEs) e não-sistemáticos (MSEu) e respectivas raízes dos erros quadráticos médios (RMSEs e o RMSEu) e o erro relativo (ER), equações (6),(7) e (8); **[IV]** Determinar o grau de concordância, através conceito de exatidão, proposto Willmott (1981), aplicando o Índice de concordância ( $d$ ) – equação (9); **[V]** Por fim, o teste *t-student* de acordo com Stones (1983), equação (10) – **P**: Predição e **O**: Observado.

$$b = \frac{N(\sum O_i P_i) - (\sum O_i)(\sum P_i)}{N\sum (O_i)^2 - (\sum O_i)^2} \quad \text{Eq.(2)} \quad a = \bar{P} - b \cdot \bar{O} \quad \text{Eq.(3)}$$

$$MBE = N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad \text{Eq.(4)} \quad MAE = N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad \text{Eq.(5)}$$

$$MSE = \left( N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right) \quad \text{Eq.(6)} \quad RMSE = \sqrt{\left( N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right)} \quad \text{Eq.(7)}$$

$$ER (\%) = \frac{RMSE}{O_x} \cdot 100 \quad \text{Eq.(8)} \quad d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2} \quad \text{Eq.(9)}$$

$$t = \sqrt{\frac{(N' - 1) \cdot MBE^2}{MSE - MBE^2}} \quad \begin{cases} MBE < 0, -(t) \\ MBE \geq 0, (t) \end{cases} \quad \text{Eq.(10)}$$

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** De acordo com testes de avaliação, a Equação (11), uma função sigmoideal, foi o modelo que melhor expressou a relação entre o IAF (DSSAT) e os graus-dias acumulado durante o ciclo. Um modelo proposto tem estrutura semelhante ao que foi determinado por MANFRON et al., 2003.

$$IAF = \frac{4}{1 + \exp\left(-\frac{GD - 990,3 + \frac{1047,4}{2}}{102,3}\right)} \times \left[ 1 - \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{GD - 990,3 - \frac{1047,2}{2}}{216,8}\right)} \right] \quad \text{Eq.(11)}$$

A Figura 1A representa a evolução do IAF, simulado pela equação 11 e medidos no experimento (híbrido Agromen), em função dos graus-dias acumulados durante o ciclo

do milho. Por sua vez, na Figura 1B representa o processo de validação por meio de regressão linear. De acordo com os resultados, Figura 1A, os valores de IAF simulados foram menores que as medidas de IAF/Agromen. Nota-se também que tanto as medidas quanto as simulações definiram as principais fases do desenvolvimento do milho de forma satisfatória, ou seja: o crescimento vegetativo; o período de IAF máximo que vai do início da floração até o enchimento de grãos e, por fim, a senescência. Entretanto, as condições meteorológicas reinantes eram distintas, principalmente, em relação ao conteúdo de água no solo. O modelo, por exemplo, foi estruturado em condições meteorológicas de sequeiro, ou seja, a planta frequentemente estava sujeito ao déficit hídrico. Todavia, o IAF medido foi influenciado positivamente do conteúdo de água no interior do lisímetro. Nestas condições, em função da constante reposição de água, as condições hídricas, durante o ciclo, foram mantidas próximo da ideal. Nota-se ainda que a cultura, no lisímetro, ainda recebeu aplicações de NPK em doses recomendadas. Na Figura (1B) e Tabela (1), encontram-se relações, parâmetros, indexadores e erros estatísticos avaliados no estudo. A diferença no ambiente entre os dados meteorológicos e as condições hídricas internas do lisímetro, como citado, determinou que o modelo subestima os valores de IAF – inclinação da linha em relação a reta 1:1. No lisímetro as condições seriam semelhantes a uma área frequentemente irrigada. Mesmo assim, em função da homogeneidade na dispersão dos IAF's e da linearidade entre a comparação, adição de um fator de correção de 1,5 (50% no IAF simulado), amenizaria os erros e adequaria os valores, por exemplo, o erro relativo seria 5,9%. Todavia, em validações, o ideal que não houvesse diferenças de ambientes, pois, esta condição favorece a ocorrência de erros sistemáticos. De fato, o índice de concordância (d) de 0,84 e o erro relativo (ER) em torno de 40,3% confirmam esta imprecisão, veja Tabela 1. No experimento, o IAF do híbrido atingiu valor máximo de 5,5 enquanto que no modelo o IAF máximo não excedeu 3,7, ou seja, uma diferença de 32,7%. Contudo, a precisão do modelo deve ser atribuída à baixa dispersão que é expressa pelo elevado coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,99. Como citado, o modelo simulou com qualidade a evolução do IAF ao longo do ciclo. Outros erros foram avaliados o erro absoluto médio (EAM) e o viés (MBE) na ordem de 1,2; raiz do erro do quadrático médio (RMSE) na ordem 1,4. Por fim, o teste “t” apontou que houve diferença estatística entre as médias.

#### **4. CONCLUSÃO**

Apesar das imprecisões no processo de validação, conclui-se que o modelo tem habilidade de expressar a evolução do IAF e caracterizar as fases do desenvolvimento do milho. No entanto, as condições climáticas, entre o IAF medido e simulado, além de elevar os erros, não foram satisfatórias ao processo de validação. Nesta ordem, um fator de correção adequou os ambientes e amenizou de forma significativa os erros.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e a FAPEMIG pelo suporte financeiro e apoio.

#### **6. BIBLIOGRAFIA**

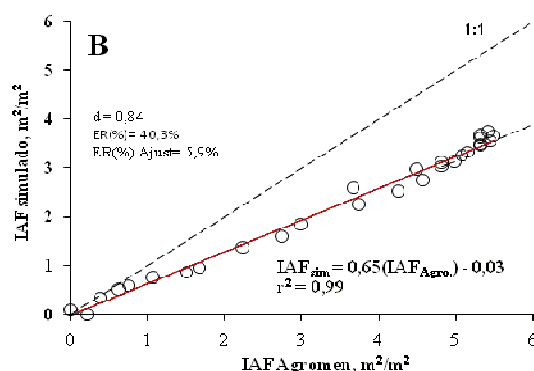
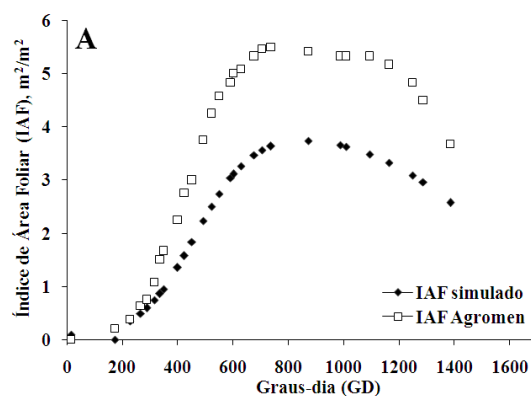
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. Cultivo do milho nutrição e adubação. Sete Lagoas: Embrapa, 2002. 12 p. (Comunicado técnico, 44).
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. São Paulo: FEALQ/Departamento de Produção Vegetal: ESALQ/USP, 1999.
- JONES, T. A. *Fitting straight lines when both variables are subject to error, i. Maximum likelihood and least-squares estimation*, **Mathematical Geology**, 11(1), p. 1–25, 1979.
- MARK, D. M.; PEUCKER, T. K. *Regression analysis and geographic models*. The Canadian Geographer, 12, p. 51-64. 1978.
- SHULER, A. **O controle estatístico**. 8. ed., Recife – PE: 2007. 152 p. Disponível em: <<http://www.deq.ufpe.br/disciplinas/Controle%20Estatistico/Controle.pdf>> Acesso em: 10 maio. 2008.
- MANFROM, P.A. et al. *Modelo do índice de área foliar da cultura de milho*. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria (RS), v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003.
- WILLMOTT, C.J. *On the validations of models*. **Physical Geography**, Newark, p.184–194. 1981. Disponível em: <http://ams.allenpress.com/archive/1520-0477/63/11/pdf/i1520-0477-63-11-1309.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2008.
- WOLSCHICK, D. **Modelo Simass-C: Inclusão da Modelagem do crescimento e desenvolvimento do milho**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. (Tese DS), 2004.

**TABELA (1):** Resumo estatístico da validação do modelo.

Fases	Índice de Área Foliar (IAF)			
	IAF (Simulado)		IAF (Agromen)	
Média/Desvio Padrão	2,2	1,3	3,5	2,0
a		0,03	b	0,65
n		28	d	0,84
MAE		1,2	r <sup>2</sup>	0,99
MBE		1,2	t(calculado)	9,5 <sup>ns</sup>
RMSE		1,4	ER (%)	40,3
Fator de Correção (FC)		1,5*	ER ajust. (%)	5,9

$\bar{x}$  = IAF médio; s = desvio padrão; ns = não significativo pelo teste “t” ao nível de 5% de probabilidade.

\*FC =  $\bar{x}$  (real/simulado)<sub>n</sub> → nivelar os ambientes.



**FIGURAS: (1A).** Valores de IAF do milho (“Agromen” e “simulado”) relacionados aos graus-dias acumulados ao longo do ciclo da cultura – 10/2002 a 02/2003. **(1B)** Correlação entre os IAF’s observados e os IAF’s calculados pela equação.