

MODELO PARA ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA CULTURA DE MILHO

LUIS GONZAGA MEDEIROS DE FIGUEREDO JÚNIOR¹, DURVAL DOURADO NETO^{2,6}, RICARDO FERRAZ DE OLIVEIRA³, PAULO AUGUSTO MANFRON^{4,6}, THOMAS NEWTON MARTIN^{5,6}

¹Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP. Bolsista Capes.

²Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Associado do Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP. E-mail: dourado@esalq.usp.br (autor para correspondência).

³Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Associado do Departamento de Ciências Biológicas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP.

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Titular do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria.

⁵Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Fitotecnia do Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP.

⁶Bolsista do CNPQ.

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.4, n.1, p.8-13, 2005

RESUMO - O presente trabalho tem por objetivo formular um modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura de milho em função do desenvolvimento relativo e da população de plantas. Com base em dados experimentais obtidos por Lima (1995) e Basanta (1999), elaborou-se o modelo para obter o valor estimado do índice de área foliar da cultura de milho, considerando a variação temporal (desenvolvimento relativo) ao longo do ciclo, para população de plantas entre 40.000 e 65.000 plantas.ha⁻¹. O modelo para estimativa do índice de área foliar ora proposto foi avaliado a partir de análises de regressão, sendo selecionado e analisado por meio de dois critérios: (i) significância de seus parâmetros ou intervalo de confiança e (ii) análise de variância (Teste F). Os resultados indicam que o modelo apresentou ajuste satisfatório aos dados observados, podendo ser utilizado para distintas condições de cultivo.

Palavras-chave: área foliar, modelos de culturas, produtividade.

MODEL FOR ESTIMATING LEAF AREA INDEX OF THE MAIZE CROP

ABSTRACT - This study proposes a model for estimating leaf area index of the maize crop, as a function of relative crop development and plant population. Based on the data obtained by Lima (1995) and Basanta (1999), the proposed model was made considering the temporal variation of daily air temperature during the crop cycle, using plant population from 40,000 to 65,000 plants.ha⁻¹. The proposed model was evaluated by regression analysis using two criteria: (i) parameters range (must not be equal to zero using confidence interval of 95%), and (ii) variance analysis (F Test). The results showed a satisfactory adjust of the model to the observed values and that it can be used in different crop conditions.

Key words: leaf area, crop model, productivity.

O milho é uma planta de metabolismo C4, o que lhe confere alta eficiência na utilização de luz e dióxido de carbono (CO₂). Entretanto, o aproveitamento da energia luminosa pelas plantas é diretamente influenciado pela densidade de semeadura, pela arquitetura do genótipo utilizado e pela área foliar efetiva. No intuito de maximizar a eficiência de interceptação de luz, materiais com menor área foliar por planta requerem um maior número de plantas por hectare, enquanto que plantas de menor estatura requerem menor espaçamento entre fileiras (Magalhães *et al.*, 1995).

A área foliar é um parâmetro chave no crescimento vegetal (Stewart & Dwyer, 1999), sendo frequentemente medida ou estimada na análise quantitativa do crescimento de plantas. A área foliar de uma planta depende do número, do tamanho das folhas e do estágio fenológico (Pereira & Machado, 1987). O índice de área foliar, por sua vez, representa a capacidade que a comunidade tem de explorar o espaço disponível.

A fotossíntese líquida na planta de milho é positiva quando atinge o estágio fenológico de duas folhas completamente expandidas (Magalhães *et al.*, 1995). A fixação de CO₂ através da fotossíntese é responsável por cerca de 90% da massa de matéria seca do milho. Como a fotossíntese depende da área foliar, a produtividade de uma cultura será tanto maior quanto mais próximo for o índice de área foliar do máximo potencial do genótipo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa; retardando a senescência, que é o processo deteriorativo que finaliza a vida funcional de células (Ceppi *et al.*, 1987).

A funcionalidade do aparato foliar influencia diretamente o acúmulo de massa de matéria seca na planta. Sendo assim, diversas pesquisas têm sido conduzidas com a finalidade de elucidar o processo de senescência em plantas cultivadas.

A senescência de folhas ocorre mais rapidamente com o aumento da densidade de semeadura (Allison, 1969), em consequência do maior sombreamento das folhas mais baixas em cultivos adensados. Por outro lado, a senescência de folhas também é influenciada pela disponibilidade de nutrientes (Eik & Hanway, 1965), estresse hídrico (Claasen & Shaw, 1970) e temperatura (Wilson *et al.*, 1973).

Alguns genótipos de milho apresentam retardamento no processo de senescência das folhas, devido ao caráter '*stay green*'. Essa característica está relacionada à expressão de um gene que interage com o ambiente evitando perda de água e clorofila das folhas até o ponto de maturidade fisiológica dos grãos (Thomas & Smart, 1993), o que resulta no retardamento da senescência. O caráter '*stay green*' foi observado por Tollenar & Daynard (1978), onde dez genótipos de milho híbrido apresentaram uma correlação positiva entre a duração da área foliar verde e a produtividade de grãos.

A curva que descreve o índice de área foliar da cultura de milho, desde a emergência até o ponto de maturidade fisiológica, apresenta comportamento assimétrico (Lopes & Maestri, 1973), tornando o ajuste dos dados mais laborioso. Adams & Hills (1977) propuseram a utilização da parábola modificada do tipo $IAF = a + bt^z + (ct^z)^w$, que ajustou satisfatoriamente os dados, obtidos por Machado *et al.* (1982), de índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) em função do tempo (t, dae) para diferentes populações da cultura de milho.

Os modelos matemáticos possibilitam utilizar os resultados obtidos para outras situações, no intuito de definir ordem de grandeza. Para tal, desde que se conheça o processo estudado, os resultados devem ser apresentados na forma extrapolável (sempre utilizando grandeza

intensiva) para determinação da ordem de grandeza.

O presente trabalho tem por objetivo propor um modelo para estimativa do índice de área foliar em função da população de plantas e do desenvolvimento relativo da cultura de milho.

Material e Métodos

Com base em dados experimentais obtidos por Lima (1995) e Basanta (1999), elaborou-se o modelo (Equações 1 a 3 - modelo proposto neste trabalho) para estimativa do índice de área foliar, considerando sua variação temporal ao longo do ciclo da cultura de milho, caracterizado pelo desenvolvimento relativo (no intuito de extrapolação dos resultados), para a faixa de população de plantas entre 40.000 e 65.000 plantas.ha⁻¹. Para tal, foi utilizado o software *Table Curve*, no intuito de viabilizar a análise de regressão, onde foram usadas diferentes grandezas intensivas (índice de área foliar, desenvolvimento relativo da cultura e população de plantas).

$$IAF_i = e^{(a_0 + a_1 \cdot Dr_i + a_2 \cdot \sqrt{Dr_i})} \quad (1)$$

$$FC_{IAF} = b_0 \cdot Po + b_1 \quad (2)$$

$$IAFc_i = IAF_i \cdot FC_{IAF} \quad (3)$$

em que IAF_i se refere ao índice de área foliar (m².m⁻²), Dr_i ao desenvolvimento relativo da cultura, $IAFc_i$ ao índice de área foliar corrigido no i-ésimo dia após a emergência, Po à população de plantas (plantas.m⁻²), FC_{IAF} ao fator de correção e a_0, a_1, a_2, b_0, b_1 aos parâmetros empíricos determinados através da análise de regressão.

O desenvolvimento relativo da cultura (Dr_i), calculado na escala diária, até o i-ésimo dia após a emergência é assim definido:

$$Dr_i = \frac{\sum_{j=1}^i (T_j - Tb)}{GD_{pmf}} \quad (4)$$

em que T_j se refere à temperatura média do ar (°C) no j-ésimo dia após a emergência, Tb à temperatura basal inferior da planta de milho (temperatura abaixo da qual a fotossíntese líquida é negativa) (10°C) e GD_{pmf} à soma calórica (ou índice térmico, ou número de graus-dia) para atingir o ponto de maturidade fisiológica (°C.dia).

Os dados experimentais obtidos por Lima (1995) foram coletados sistematicamente ao longo do ensaio, com uma população de plantas de 60.000 plantas.ha⁻¹ (6,0 plantas.m⁻²), considerando o valor padrão ($FC_{IAF} = 1$) neste trabalho. Foram utilizados três híbridos comerciais de milho, sendo representativos de diferentes ciclos: híbrido triplo superprecoce XL-520, híbrido triplo normal XL-380 e híbrido duplo normal XL-678, com exigências calóricas baixa, média e alta, respectivamente.

Os dados apresentados por Basanta (1999), por sua vez, referem-se a populações de plantas variando de 40.000 a 65.000 plantas.ha⁻¹. Foi utilizado o genótipo C-909, cuja classificação comercial quanto ao florescimento é superprecoce.

Para avaliação do modelo foram utilizados dados obtidos de Gadioli (1999)¹, referentes ao índice de área foliar de milho (C-333-B: ciclo normal), população de 50.000 plantas.ha⁻¹, cultivado no ano agrícola 97/98, no Município de Taubaté, SP.

Resultados e Discussão

O modelo para estimativa do índice de área foliar (Figura 1) foi selecionado e avaliado

¹ Dados cedidos pelo autor.

inicialmente a partir de análises de regressão, sendo selecionado e analisado por meio de dois critérios: (i) significância de seus parâmetros ou intervalo de confiança (Tabela 1) e (ii) análise de variância (Teste F) (Tabela 2).

A curva que descreve o índice de área foliar em função do desenvolvimento relativo da cultura de milho corrobora com os resultados obtidos por Machado *et al.* (1982), que observaram

um máximo valor de IAF próximo ao estágio de florescimento e a partir daí uma diminuição gradativa causada pelo processo de senescência.

A avaliação do modelo obtido, realizada com base na comparação de dados apresentados por Gadioli (1999), indica que o modelo apresentou ajuste satisfatório (Figura 2) aos dados observados experimentalmente.

TABELA 1. Coeficientes e respectivos intervalos de confiança (95%) das análises de regressão para estimativa do índice de área foliar (IAF, m².m⁻²) e do fator de correção do IAF (FC_{IAF}).

Coeficiente	Valor	Intervalo de confiança	
IAF			
a ₀	-7,633931	-10,213314	-5,054548
a ₁	-15,55692	-19,790184	-11,323656
a ₂	24,176556	17,524381	30,828732
FC _{IAF}			
b ₀	0,1176	0,113712	0,121563
b ₁	0,2915	0,270620	0,312378

TABELA 2. Análise de variância das análises de regressão para estimativa do índice de área foliar (IAF) e do fator de correção do IAF (FC_{IAF}).

CV	GL	QM	F _c	F _{tab} (0,01)
IAF				
Modelo	2	23,39197	245,46	9,55
Erro	7	0,095299		
Total	9			
FC _{IAF}				
Modelo	1	0,06054366	6940,1	21,20
Erro	4	0,0000087237		
Total	5			

Sendo o índice de área foliar uma medida que expressa a área foliar de uma cultura por unidade de área do terreno, a população de plantas influencia diretamente o comportamento deste índice. Por sua vez, o manejo da população de plantas está na dependência da disponibilidade de água e fertilizantes no solo.

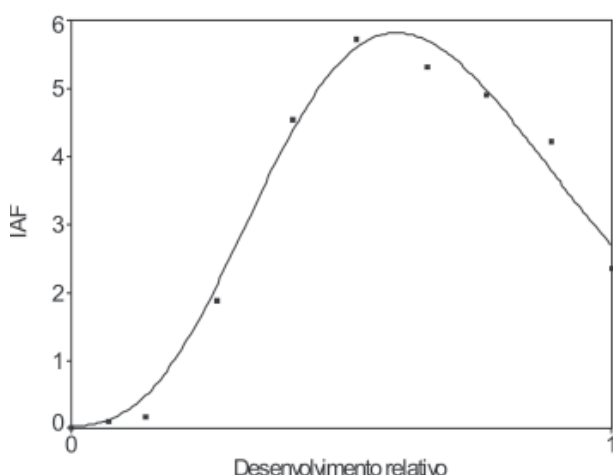


FIGURA 1. Variação do índice de área foliar (IAF, $m^2 \cdot m^{-2}$) em função do desenvolvimento relativo (Dr) da cultura de milho.

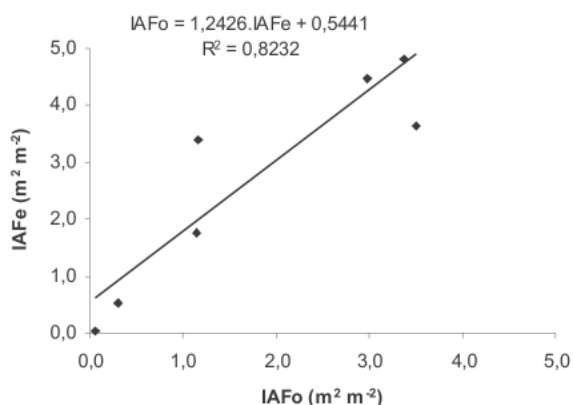


FIGURA 2. Comparação entre valores do índice de área foliar observado (IAFo, $m^2 \cdot m^{-2}$) por Gadioli (1999) e estimado (IAFe, $m^2 \cdot m^{-2}$) pelo modelo proposto.

Conforme Fancelli & Dourado Neto (2000), as populações que propiciam maiores produtividades para a cultura de milho no Brasil atualmente situam-se entre 40.000 e 70.000 plantas. ha^{-1} , dependendo do nível tecnológico empregado, do genótipo e das condições edafoclimáticas. O fator de correção (FC_{IAF}) para ajustar o índice de área foliar à população de plantas possibilita obter estimativas de valores de IAF para populações entre 40.000 e 65.000 plantas. ha^{-1} , estando, portanto, dentro da faixa de população recomendada para nossas condições.

Alguns modelos são concebidos para realizar estimativas na escala diária, enquanto outros simulam a partir da média de um período mais longo, como um estágio fenológico ou o ciclo da cultura. De uma maneira ou de outra, o conhecimento da ordem de grandeza do índice de área foliar é imprescindível para estimativa da produtividade da cultura de milho.

O modelo proposto foi calibrado e testado utilizando cinco genótipos: (i) XL-520, (ii) XL-380 e (iii) XL-678 (Lima, 1995), (iv) C-909 (Basanta, 1999) e (v) C-333-B (Gadioli, 1999), o que pode ser considerado satisfatório, visto que o desenvolvimento relativo da cultura permite a extrapolação do resultado, independentemente da exigência calórica (soma calórica para o florescimento e ponto de maturidade fisiológica), e o modelo proposto permite estimar apenas a variação temporal da ordem de grandeza do índice de área foliar, levando em consideração a população de plantas.

Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo proposto é utilizável para estimar a variação temporal da ordem de grandeza do índice de área foliar da cultura de milho.

Literatura Citada

ADAMS, J. C.; HILLS, F. J. A power parabola for the asymmetrical response. **Agronomy Journal**, v.60, 1977. p.124-125.

ALLISON, J. C. S. Effect of plant population on the production and distribution of dry matter in maize. **Annals of Applied Biology**, v.63, 1969. p.135-144.

BASANTA, M. D. V. **Modelo para estimativa do volume máximo de calda visando a aplicação foliar de produtos químicos na cultura de milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba, 1999. 65p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CEPPI, D.; SALA, M.; GENTINETTA, E. VERDERIO, A.; MOTTO, M. Genotype-dependent leaf senescence in maize: inheritance and effects of pollination-prevention. **Plant Physiology**, v.85, 1987. p.720-725.

CLAASEN, M. M.; SHAW, R. H. Water deficit effects on corn. I. Vegetative components. **Agronomy Journal**, v.62, 1970. p.649-652.

EIK, K.; HANWAY, J. J. Some factors affecting development and longevity of leaves of corn. **Agronomy Journal**, v.57, 1965. p.7-12.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

GADIOLI, J. L. **Estimativa de rendimento de grãos e caracterização fitotécnica da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba, 1999. 86f.: il. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LIMA, M. G. **Calibração e validação do modelo cerez-maize em condições tropicais do Brasil**. Piracicaba, 1995. 119p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LOPES, N. F.; MAESTRI, M. Análise de crescimento e conversão de energia solar em população de milho (*Zea mays* L.) em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 20, 1973. p.189-201.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; SILVA, W. J.; TEIXEIRA, J. P. F. Análise quantitativa do crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.6, 1982. p.825-833.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta do milho**. EMBRAPA. Circular técnica n.20, 1995. 27p.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Instituto Agronômico de Campinas. Boletim técnico n.114, 1987. 33p.

STWART, D. W.; DWYER, L. M. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. **Crop Science**, v.39, 1999. p.422-427.

THOMAS, H.; SMART, C. M. Crops that stay green. **Annals of Applied Biology**, v.123, n.1, 1993. p.193-219.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T. B. Leaf senescence in short-season maize hybrids. **Canadian Journal of Plant Science**, v.58, n.3, 1978. p.869-874.

WILSON, J. M.; CLOWES, M. S. J.; ALLISON, J. C. S. Growth and yield of maize at different altitudes in Rhodesia. **Annals of Applied Biology**, v.73, 1973. p.77-84.