

ISSN 0104-1347

Modelo do índice de área foliar da cultura de milho

Leaf area index model of the maize crop

Paulo Augusto Manfron^{1,7}, Durval Dourado Neto^{2,7}, Antônio Roberto Pereira^{3,7}, Reinaldo Antônio Garcia Bonnacarrère^{4,7}, Sandro Luis Petter Medeiros⁵ e Felipe Gustavo Pilau⁶

Resumo – A determinação da variação temporal do índice de área foliar (IAF), rotineiramente, requer métodos destrutivos com a remoção de plantas, o que afeta a interação das plantas remanescentes, além de ser um processo demorado. Com o objetivo de se eliminarem tais deficiências operacionais e metodológicas, e de facilitar avaliações rápidas e simultâneas do IAF durante o ciclo da cultura de milho, desenvolveu-se um método prático (estatístico) para estimar o IAF conhecendo-se a estatura média das plantas e a soma térmica entre a temperatura basal mínima de 10°C e a máxima de 30°C. Foram realizados dois experimentos em Piracicaba-SP sendo, no primeiro, utilizados os híbridos F-5013, Br-206 e P-4071, durante o período de 18-10-1996 a 01-03-1997; e o segundo, com os híbridos C-901, C-333-B e C-806, durante o período de 20-10-1997 a 11-03-1998. A análise gráfica das medidas mostrou que o IAF pode ser descrito por uma função quadrática da estatura de planta (h , cm): $IAF = a.h^2 + b.h$, sendo que 'a' e 'b' são os parâmetros empíricos determinados por análise de regressão. O modelo representou satisfatoriamente a variação temporal do índice de área foliar.

Palavras-chave: modelagem, estatura de plantas, graus-dia, milho.

Abstract – Leaf area index (LAI) varies along the crop cycle and its determination normally requires the extraction of a sample of plants for time consuming lab measurements. To avoid such difficulties and to speed up the determination in simultaneous field plots a practical statistical method was developed taking the average plant height and the growing degree days as inputs. Experimental fields at Piracicaba, SP, Brazil, with the corn hybrids F-5013, BR-206 and P-4071 during 10-18-96 and 03-01-1997, and C-901, C-333-B and C-806 during 10-12-1997 and 03-11-1998. The graphic analysis showed that the LAI can be described by a quadratic function of height plant (h , cm): $LAI = a.h^2 + b.h$, where 'a' and 'b' are the empirical parameters computed by regression analysis. The model worked fairly well.

Key words: modeling, stature of plant, degree-days, maize.

Introdução

Modelo é a representação simplificada de um sistema enquanto simulação é a arte de construir modelos (WIT, 1982). A simulação é uma ferramenta útil para prever resultados de ensaios ou ações que não podem ser testados experimentalmente.

WHISLER et al. (1986) catalogam em três categorias básicas as razões para a construção de modelos: (i) como auxílio na interpretação de resultados experimentais; (ii) como ferramenta para a pesquisa agrônoma; (iii) como ferramenta de desenvolvimento agrônomo. Segundo os mesmos autores, muitos modelos de cultivo ou parte deles foram construídos

¹ Dr. Prof. Titular. Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM, Santa Maria, RS. manfronp@ccr.ufsm.br

² Dr. Prof. Associado, Departamento de Produção de Vegetal. ESALQ-USP. Piracicaba, SP. dourado@esalq.usp.br

³ Dr. Prof. Titular. Departamento de Ciências Exatas. ESALQ-USP. Piracicaba, SP. arpereir@esalq.usp.br

⁴ Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Fitotecnia, ESALQ-USP, Bolsista CNPq. rabonnec@esalq.usp.br

⁵ Dr. Prof. Adjunto. Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM, Santa Maria, RS. sandro@ccr.ufsm.br

⁶ Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Física do Ambiente Agrícola. ESALQ-USP. fgpilau@esalq.usp.br

⁷ Bolsista CNPq.

para ajudar o pesquisador a entender a operação de alguma parte de um sistema agrônomico, como o fluxo de água no solo, controle de abertura e fechamento de estômatos, ou movimento de nutrientes no solo e o crescimento e desenvolvimento de uma cultura.

A utilização de modelos extrapoláveis tem por objetivo fazer com que o resultado seja generalizado para outras situações diferentes da condição em que os resultados foram obtidos. A filosofia é estimar a ordem de grandeza para fins de planejamento, nos quais são requeridos formação teórica apurada, experiência e bom senso do usuário da informação.

A área foliar de uma planta depende do número e do tamanho das folhas e, por conseqüência, do estágio de desenvolvimento da planta. O índice de área foliar (IAF), definido pela relação da área total foliar por unidade de área explorada pela cultura, depende da fertilidade do solo, das condições climáticas, do espaçamento e, principalmente, do material genético. O IAF representa a capacidade que a comunidade tem para explorar o espaço disponível. A variação temporal da área foliar em geral aumenta até um limite máximo, no qual permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, devido à senescência das folhas velhas. Como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (PEREIRA & MACHADO, 1987).

A determinação da variação temporal do índice de área foliar, rotineiramente requer métodos destrutivos com a remoção de plantas, afetando a interação das plantas remanescentes, além de ser um processo demorado.

Com o objetivo de se eliminarem tais deficiências operacionais e metodológicas, e de facilitar avaliações rápidas e simultâneas do IAF durante o ciclo da cultura de milho, desenvolveu-se um método prático (estatístico) para estimar o IAF conhecendo-se apenas a estatura média das plantas. A variação temporal do IAF foi descrita em função da soma térmica (graus-dia acumulados).

Material e métodos

Para determinar a variação temporal do IAF e estimá-lo durante o ciclo da cultura, foram realiza-

dos dois experimentos inteiramente casualizados, com três repetições cada, na área experimental da ESALQ, USP, em Piracicaba, SP (22°42' S, 47°38' W e 546 m de altitude). No experimento I, com o objetivo de determinar a variação temporal do IAF para a calibração do método, semearam-se três híbridos (F-5013, BR-206 e P-4071) em 18-10-1996, sendo a colheita realizada em 01/03/1997. Cada repetição foi constituída com 3,2m de largura (4 linhas com espaçamento de 0,8m) com 30m de comprimento. Cada híbrido foi contemplado com 96 m²/repetição (288 m²/híbrido), em populações de 58000 plantas/ha.

A adubação de semeadura foi feita aplicando 30 kg de nitrogênio, 90 kg de P₂O₅ e 50 kg de K₂O. A adubação em cobertura foi efetuada aplicando 80 kg de nitrogênio, para os experimentos I e II. Utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central.

Para o cálculo do IAF_{i,j} de cada híbrido i, em cada coleta j, utilizou-se a seguinte expressão:

$$IAF_{i,j} = \frac{MSF_{i,j} \cdot Ae_{i,j} \cdot P_i}{10^4} \quad (1)$$

sendo MSF_{i,j} a massa seca de folha de uma planta (g), Ae_{i,j} a área específica da folha (cm² g⁻¹) e P_i a população na colheita (plantas m⁻²). Ae_{i,j} foi determinada com imagens capturadas de segmentos das folhas de cinco plantas por repetição e tratadas por um software específico (CALDAS *et al.*, 1992), sendo sua massa seca (g) obtida após secagem a 60 °C, em estufa de ventilação forçada.

Foram coletadas 15 plantas de cada híbrido para a determinação do IAF (índice de área foliar), sendo as coletas realizadas a cada 15 dias, a partir da emergência. O IAF foi determinado medindo-se o comprimento vezes a largura, vezes o fator de correção (CxLxFC), de cada folha no mesmo dia da coleta. O fator de correção utilizado neste experimento foi de 0,7, segundo FANCELLI & DOURADONETO (2000). Estas determinações foram realizadas para todos os híbridos até a maturidade fisiológica de cada híbrido.

A análise gráfica das medidas mostrou que o IAF pode ser descrito por uma função quadrática da estatura de planta (h, cm), ou seja:

$$IAF = a \cdot h^2 + b \cdot h \quad (2)$$

em que 'a' ($m^2 \cdot m^{-2} \cdot cm^{-2}$) e 'b' ($m^2 \cdot m^{-2} \cdot cm^{-1}$) são os parâmetros empíricos determinados por análise de regressão convencional.

No experimento II, com o objetivo de estimar o IAF na cultura de milho pela medida no campo da estatura de planta, semearam-se três híbridos (C-901, C-333B e C-806) em 20-10-1997, sendo a colheita realizada em 11-03-1998. Cada parcela constava de 3,6 m de largura (4 linhas com espaçamento de 0,9m), com 30 m de comprimento. Cada híbrido ocupava $108m^2 \cdot repetição^{-1}$ ($324 m^2 \cdot híbrido^{-1}$), em populações de 60.000, 50.000 e 50.000 plantas. ha^{-1} , respectivamente.

Após a semeadura, anotou-se o momento da emergência (fase plântula – 50% emergência) e a partir da primeira folha começou a fase de contagem do número de folhas até a abertura de todas as folhas da cultura (fase vegetativa). Selecionaram-se durante a fase de crescimento da cultura três grupos de cinco plantas para cada híbrido para determinar os estádios fenológicos. Para não perder o número de folhas, estas foram marcadas com barbante plástico em virtude da senescência. O acompanhamento dos estádios fenológicos foi baseado em FANCELLI & DOURADO-NETO (2000).

O número de graus-dia acumulados foi calculado a partir da emergência das plantas usando-se as seguintes equações:

$$GD_{fl} = \sum_{i=1}^{N_{fl}} \left[\frac{(T \max_i + T \min_i)}{2} - Tb \right] \quad (3)$$

(se $Tm \geq Tmax_i$ e $Tmin_i \geq Tb$)

$$GD_{fl} = \sum_{i=1}^{N_{fl}} \left[\frac{(Tm + T \min_i)}{2} - Tb \right] \quad (4)$$

(se $Tmax_i \geq Tm$ e $Tmin_i \geq Tb$)

$$GD_{pmf} = \sum_{i=1}^{N_{pmf}} \left[\frac{(T \max_i + Tb)}{2} - Tb \right] \quad (5)$$

(se $Tm \geq Tmax_i$ e $Tb \geq Tmin_i$)

$$GD_{pmf} = \sum_{i=1}^{N_{pmf}} \left[\frac{(Tm + Tb)}{2} - Tb \right] \quad (6)$$

(se $Tmax_i \geq Tm$ e $Tb \geq Tmin_i$)

em que $Tmax_i$ e $Tmin_i$ se referem, respectivamente, às temperaturas ($^{\circ}C$) máxima e mínima diária do ar, e Tb e Tm às temperaturas basais inferior ($10^{\circ}C$) e superior ($30^{\circ}C$) da cultura (BERLATO et al., 1984; LEAL, 1993; LIMA, 1995), respectivamente.

Para estimativa do índice de área foliar (valor absoluto) (IAF, $m^2 m^{-2}$), em função da soma térmica para os três híbridos específicos, assumiu-se o modelo quadrático referente à relação funcional entre o IAF (variável dependente) e a estatura de plantas (variável independente) e utilizou-se o seguinte modelo explanatório:

$$IAF_i = a + \left[\frac{b}{1 + e^{-\frac{(GD_i - C + \frac{d}{2})}{f}}} \right] \left[1 - \frac{1}{1 + e^{-\frac{(GD_i - C + \frac{d}{2})}{g}}} \right] \quad (7)$$

em que 'a', 'b', 'c', 'd', 'f' e 'g' se referem aos parâmetros determinados por análise de regressão não linear (WHISLER et al., 1986).

Para estimativa do índice de área foliar relativo (IAFr) em função do desenvolvimento relativo da cultura, utilizou-se o seguinte modelo:

$$IAFr_i = \cos^a \left\{ \frac{p}{2} \left(1 - \left[\frac{Dr_i}{Dr_m} \right]^b \right) \right\} \quad (8)$$

em que Dr_m , 'a' e 'b' são parâmetros determinados por análise de regressão não linear.

Cabe salientar que se assumiu no modelo que o desenvolvimento relativo Dr_m é correspondente ao ponto de máximo índice relativo de área foliar (IAFr = 1), e a estimativa da área foliar (cm^2) foi realizada multiplicando-se a massa seca média de folhas pela área foliar específica de cada híbrido.

A dedução dos modelos referentes à variação do índice relativo de área foliar, em função do desenvolvimento relativo da cultura de milho, expressam matematicamente o conhecimento do fenômeno para fins de previsão com erro de estimativa associado (FANCELLI & DOURADO-NETO, 1999).

Os valores relativos foram concebidos no intuito de tornar possível a extrapolação dos

resultados obtidos no experimento descrito neste trabalho.

Resultados e discussão

O índice de área foliar mostrou uma variação temporal que pode ser descrita por uma função quadrática. Após ser atingido um ponto de máximo, há um decréscimo devido à senescência e queda das folhas. A intensidade destas variações são reflexos da variabilidade temporal da partição de fotoassimilados que está relacionada à temperatura, assumindo que os demais fatores de produção sejam constantes (Figura 1a, b, c).

No experimento I, os três híbridos analisados apresentaram IAF máximo aos 75 dias. Provavelmente este período favoreceu seu desenvolvimento (boas temperaturas e precipitações ideais). No experimento II, os três apresentaram o IAF máximo aos 60 dias, com o híbrido III mantendo o IAF máximo até os 75 dias após a emergência de plantas. Os híbridos do experimento I apresentaram decréscimo do IAF a partir dos 90 dias, devido à senescência das folhas mais velhas. Já no experimento II, os híbridos I e II apresentaram início de decréscimo de IAF a partir dos 75 dias, e o III dos 90 dias (Tabela 1).

Em agricultura irrigada, com condições ambientais sem restrições de água, a temperatura é um dos principais fatores climáticos de produção sem controle pelo homem, pois a sua variação temporal, durante o ciclo, pode ser caracterizada pelo

desenvolvimento relativo da cultura com reflexos significativos na estatura e no desenvolvimento de sua área foliar (Figura 2). Essa caracterização é fundamental para o conhecimento das somas térmica específicas de cada híbrido referentes aos estádios de desenvolvimento floração e maturação fisiológica (FANCELLI & DOURADO NETO, 1999).

Na Tabela 2, verificam-se os valores médios de área específica da folha (A_e , $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) para os híbridos do experimento I e II.

A área foliar específica é utilizada para o cálculo da área foliar total e, conseqüentemente, do índice de área foliar a partir da mensuração da fitomassa seca de folha em análise de crescimento com aplicações diversas, desde inferência da alocação de carboidrato à folha e estimativa do coeficiente de cultura. As variações que ocorrem na determinação da área foliar específica são em função da parte da folha amostrada (diferentes proporções de nervura e limbo foliar) e da precisão da balança associada à massa amostrada. Na Tabela 2, os valores de área foliar específica demonstram uma variação de 45,6% entre os valores extremos, referentes às diferentes condições experimentais diferentes entre os experimentos.

A estatura da planta apresenta um comportamento sigmoidal até atingir um valor máximo e permanecer constante. Sendo assim, a relação funcional entre o índice de área foliar e a estatura da planta apresenta comportamento quadrático (JAGTAP *et al.*, 1993).

A estimativa do índice de área foliar pode ser modelada utilizando modelos explanatórios, os quais

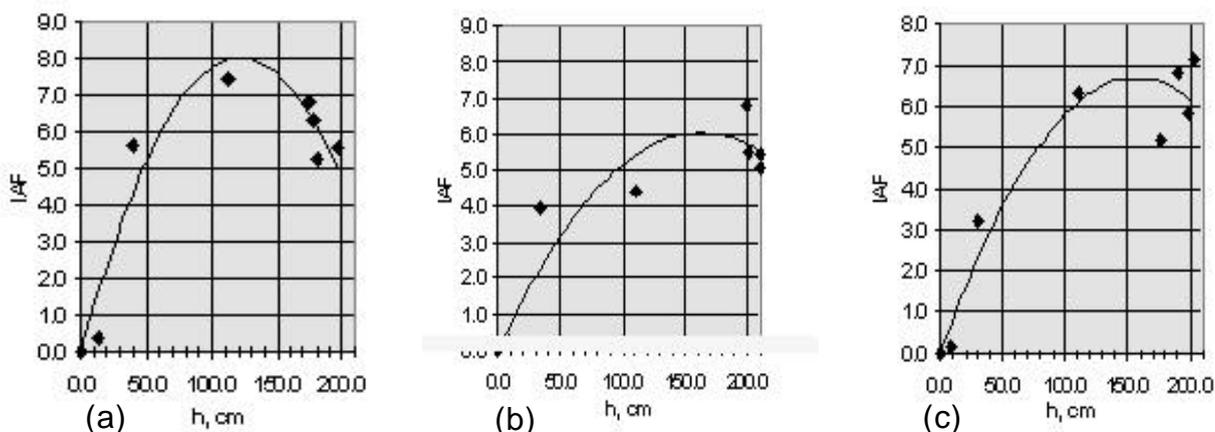


Figura 1. Modelo quadrático, referente à relação funcional entre o índice de área foliar (IAF) e a altura (h , cm) de planta, para os três diferentes híbridos no espaçamento de 0,9 m: (a) F-5013: $IAF = -0,0005.h^2 + 0,1318.h$ ($r=0,96$); (b) BR-206: $IAF = -0,0002.h^2 + 0,0744.h$ ($r=0,93$); (c) P-4071: $IAF = -0,0003.h^2 + 0,0851.h$ ($r=0,96$) (Experimento I).

Tabela 1. Índice de Área Foliar (IAF, $m^2.m^{-2}$) referente aos híbridos (15 plantas) utilizados no experimento II (I: C-901, II: C-333B, e III: C-806) nas diferentes épocas de semeadura.

DAE	I	II	III
15	0,10	0,08	0,08
30	0,82	0,59	0,56
45	3,07	2,32	2,62
60	3,54	4,16	3,02
75	3,31	3,38	3,05
90	0,96	3,05	1,81
105	0,02	1,35	0,30
120		0,23	

permitem adequar modelos estatísticos arbitrários que melhor minimizam a soma dos quadrados dos resíduos (quadrado da diferença entre os valores observados e estimados), cujo o objetivo principal é a “explicação numérica do fenômeno”.

Os modelos foram ajustados para os dados obtidos referentes aos três híbridos utilizados no experimento II (Figura 3a, b, c) (Tabela 3).

No modelo extrapolável do presente estudo, foi utilizado o índice de área foliar (grandeza intensiva) como variável dependente e a soma térmica como variável independente. O modelo foi ajustado para os dados obtidos referentes aos três híbridos utilizados (Tabela 4 e Figura 4).

Foram utilizados os híbridos (Cargill): (i) C-901 (híbrido 1: C-901), (ii) C-333B (híbrido 2: C-333B) e (iii) C-806 (híbrido 3: C-806), com as populações de 60.000 plantas. ha^{-1} , 50.000 plantas. ha^{-1} e 50.000 plantas. ha^{-1} , respectivamente (espaçamento: 0,8 m).

Observa-se, na Tabela 5, um crescimento da estatura de plantas até 75 dias após a emergência (DAE), em que para os três híbridos, foi atingida a

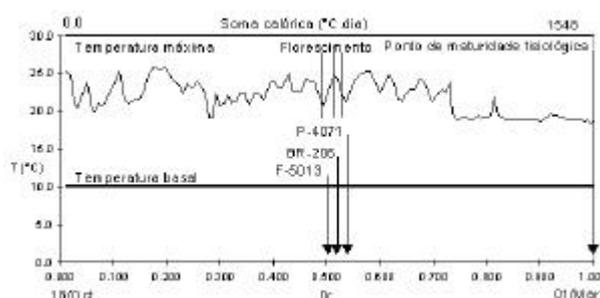


Figura 2. Representação da variação temporal da temperatura ($^{\circ}C$), do dia da semeadura (18 de outubro de 1996) a 1 de março de 1997, ilustrando a soma térmica (1548 $^{\circ}C.dia$) para que seja atingido o ponto de maturidade fisiológica, e as temperaturas basal ($10^{\circ}C$) e máxima ($30^{\circ}C$) referentes aos híbridos F-5013 (Fartura), BR-206 (Embrapa) e P-4071 (Pionner).

maior estatura de plantas. A partir desta data, observou-se um período de estabilização para, posteriormente ocorrer uma diminuição em torno de 4,6%, o que é de se esperar por serem os fotoassimilados translocados não mais para a parte aérea (colmo e folhas), mas para a formação de grãos nesta fase do seu desenvolvimento.

Na Tabela 6, verificam-se os valores calculados, médios do índice de área foliar, em valores absolutos e relativos, em função da soma térmica, fenologia e desenvolvimento da cultura de milho. Cabe salientar a importância da utilização de soma térmica como referência de planejamento e de fenologia como referência de manejo. O valor máximo de graus dia acumulados durante o ciclo dos híbridos estudados ocorreu no estágio 10, segundo FANCELLI & DOURADO NETO (2000), para um desenvolvimento relativo igual a 1. O IAF máximo, calculado em seu valor médio para os híbridos estu-

Tabela 2. Valores médios de massa seca de planta, área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) e área foliar específica (Ae) para os híbridos utilizados nos experimentos I e II.

Híbridos	População (plantas ha^{-1})	Massa seca de folhas (g)	AF (m^2)	IAF	Ae ($cm^2 g^{-1}$)
F-5013	58000	57,10	1,29	7,50	225,92
BR-206	58000	51,60	1,19	6,90	230,62
P-4071	58000	63,43	1,22	7,10	192,34
C-901	60000	38,42	0,59	3,54	153,56
C-333-B	50000	60,05	0,83	4,16	138,22
C-806	50000	48,62	0,61	3,05	125,46

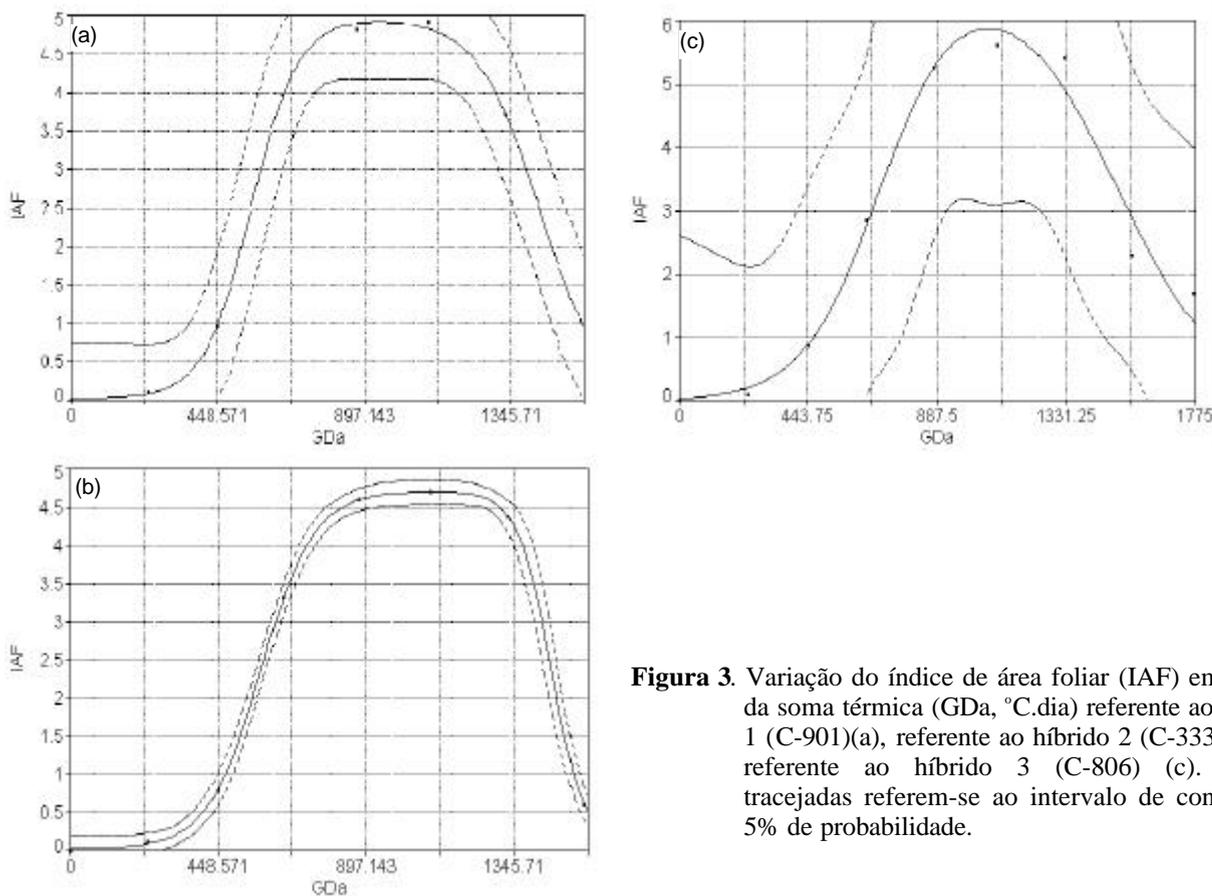


Figura 3. Variação do índice de área foliar (IAF) em função da soma térmica (GDa, °C.dia) referente ao híbrido 1 (C-901)(a), referente ao híbrido 2 (C-333B) (b) e referente ao híbrido 3 (C-806) (c). Linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança a 5% de probabilidade.

dados foi, atingido entre os estádios de desenvolvimento 6 e 7, e o IAFr máximo no estágio 4, período este decisivo na definição da produção e rendimento da cultura, principalmente quanto ao tamanho da espiga (IOWA STATE UNIVERSITY, 1993).

A Tabela 7 mostra que a utilização de valores relativos permite comparar os resultados obtidos nesse experimento com valores obtidos em outros experimentos, bem como permite a extrapolação para outras localidades (assume-se que há relação unívoca entre desenvolvimento relativo e fenologia).

A soma dos quadrados dos resíduos observados nas diversas amostragens satisfizeram plenamente os objetivos do trabalho, permitindo a explicação numérica do modelo.

Conclusão

O modelo sugerido representa satisfatoriamente a variação temporal do índice de área foliar por meio da soma térmica, a qual estima o índice

de área foliar na cultura de milho por meio da medida no campo da estatura de plantas.

Referências bibliográficas

- BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V.R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 111-132, 1984.
- CALDAS, L.S. et al. Measurement of leaf area with a hand-scanner linked to a microcomputer. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 4, n. 1, p. 17-20, 1992.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: FEALQ/ ESALQ/ USP, 1999. 360 p.
- IOWA STATE UNIVERSITY. **National corn handbook**. Cooperative extension Service: Ames, 612 p. 1993.

Tabela 3. Valores calculados do índice de área foliar (IAF, $m^2.m^{-2}$) em função da soma térmica (GDa, °C.dia), número de dias após a emergência (DAE), fenologia e desenvolvimento relativo (Dr) referente aos híbridos 1 (C-901), 2 (C-333B) e 3 (C-806).

Coleta	Data	DAE	GDa	Estádio	Dr	IAF
Híbrido 1 (C-901)						
	26-10-97	0	0,0	0	0,00	0,000
1	10-11-97	15	236,0	1	0,15	0,099
2	25-11-97	30	447,4	2	0,29	0,954
3	10-12-97	45	648,1	3-4	0,42	3,953
4	26-12-97	61	877,2	5-6	0,56	4,795
5	10-01-98	76	1095,1	6-7	0,70	4,907
6	26-01-98	92	1328,1	8-9	0,85	3,701
7	10-02-98	107	1560,6	10	1,00	1,033
	02-03-98	127		Colheita		
Híbrido 2 (C-333B)						
	26-10-97	0	0,0	0	0,00	0,000
1	10-11-97	15	236,0	1-2	0,13	0,082
2	25-11-97	30	447,4	2-3	0,25	0,846
3	10-12-97	45	648,1	3-4	0,36	2,840
4	26-12-97	61	877,2	4-5	0,49	5,254
5	10-01-98	76	1095,1	5-6	0,61	5,610
6	26-01-98	92	1328,1	7-8	0,74	5,407
7	10-02-98	107	1560,6	8-9	0,87	2,275
8	25-02-98	122	1770,2	9-10	0,98	1,677
	27-02-98	124	1802,2	10	1,00	
	11-03-98	136		Colheita		
Híbrido 3 (C-806)						
	26-10-97	0	0,0	0	0,00	0,000
1	10-11-97	15	236,0	1-2	0,14	0,105
2	25-11-97	30	447,4	2-3	0,27	0,784
3	10-12-97	45	648,1	3-4	0,40	3,303
4	26-12-97	61	877,2	5-6	0,54	4,580
5	10-01-98	76	1095,1	6-7	0,67	4,686
6	26-01-98	92	1328,1	8-9	0,81	4,369
7	10-02-98	107	1560,6	9-10	0,95	0,598
	16-02-98	113	1637,8	10	1,00	
	03-03-98	128		Colheita		

JAGTAP, S.S.; MORNU, M.; KANG, B.T. Simulation of growth, development and yield of maize in the transition zone of Nigeria. **Agricultural Systems**, Nebraska, v. 41, n. 2, p. 215-219, 1993.

LEAL, B.G. **Caracterização da radiação, análise de crescimento e do desenvolvimento de milho (*Zea***

mays L.) em três densidades de plantio. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 55 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.

LIMA, M.G. de. **Calibração e validação do modelo ceres-maize em condições tropicais do Brasil.**

Tabela 4 Parâmetros referentes à variação do índice de área foliar em função da soma térmica (GDa, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico).

Parâmetro ¹	Valor	S	valor t	Limites de confiança	
				Inferior	Superior
Híbrido 1 (C-901)					
a	0,019	0,076	0,254	-0,739	0,778
b	4,925	0,124	39,873	3,697	6,154
c	991,473	5,046	196,492	941,304	1041,642
d	881,318	15,434	57,103	727,867	1034,770
f	71,584	5,513	12,985	16,770	126,398
g	93,727	7,239	12,947	21,751	165,702
Híbrido -2 (C-333B)					
a	0,019	0,504	0,037	-2,961	2,924
b	6,743	2,338	2,884	-6,899	20,384
c	1100,679	32,955	33,399	908,401	1292,958
d	817,739	207,999	3,931	-395,834	2031,312
f	131,896	68,387	1,929	-267,110	530,903
g	176,896	91,179	1,940	-355,087	708,880
Híbrido 3 (C-806)					
a	0,015	0,017	0,912	-0,151	0,181
b	4,682	0,025	184,574	4,430	4,934
c	1019,700	1,250	815,566	1007,268	1032,131
d	881,925	3,651	241,577	845,628	918,223
f	81,067	1,515	53,495	66,000	96,134
g	51,228	1,132	45,261	39,975	62,482

¹ Modelo:

$$IAF_i = a + \left[\frac{b}{1 + e^{\frac{(GD_i - c - \frac{d}{2})}{f}}} \right] \left[1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{(GD_i - c - \frac{d}{2})}{g}}} \right]$$

Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 119 p. (Tese de Doutorado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1995.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 33 p. (Boletim Técnico, 114).

WHISLER, F.D. et al. Crop simulation models in **agronomic systems**. *Advances in Agronomy*, New York, v. 40, p. 141-208, 1986.

WIT, C.T. Simulation of living systems. In: PENNING DE VRIES, F. W.T.; VAN LAAR, H.H. (ed.). **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Pudoc, 1982. p. 3-8.

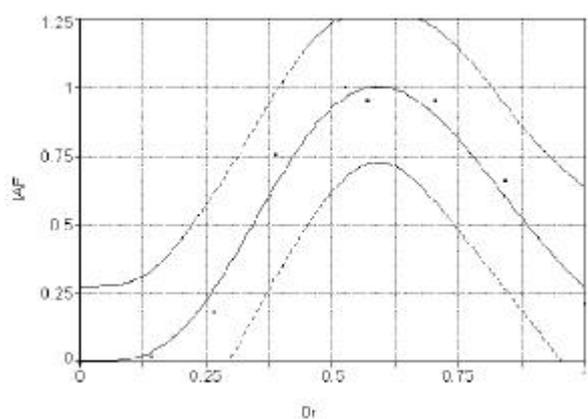


Figura 4. Variação do índice relativo de área foliar (IAFr) em função do desenvolvimento relativo (Dr) da cultura de milho. Linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Variação temporal da estatura de planta (cm) referente aos híbridos (15 plantas) utilizados (I: C901 - superprecoce, II: C333B - normal, e III: C806 - superprecoce), semeado em 20 de outubro.

DAE	I	II	III
15	32,73	33,17	36,83
30	97,47	98,2	98,27
45	198,80	188,60	199,47
60	270,93	275,47	277,07
75	271,20	293,60	277,40
90	270,13	287,60	273,80
105	269,46	281,73	264,66
120		277,13	

Tabela 6. Valores calculados médios do índice de área foliar (valores absolutos - IAF - e relativos - IAFr) em função da soma térmica (GDa, °C.dia), da fenologia e do desenvolvimento da cultura de milho (Dr).

Fenologia				GDa (°C.dia)	Dr	IAF (m ² .m ⁻²)	IAFr
C-901	C-333-B	C-806	Milho				
0	0	0	0	0,0	0,00	0,000	0,000
1	1-2	1-2	1	236,0	0,14	0,095	0,019
2	2-3	2-3	2	447,4	0,27	0,861	0,182
3-4	3-4	3-4	3	648,1	0,39	3,365	0,752
	4-5		4	877,2	0,53	5,254	1,000
5-6	5-6	5-6	5	949,8	0,57	4,995	0,951
6-7	7-8	6-7	6-7	1172,7	0,70	5,000	0,952
8-9	8-9	8-9	8-9	1405,6	0,84	3,449	0,656
10	9-10	9-10	10	1666,8	1,00	1,103	0,210

Tabela 7. Valores observados e estimados do índice relativo de área foliar (IAFr) em função do desenvolvimento relativo (Dr) da cultura de milho.

Dr	IAFr Observado	Resíduo Estimado	Limite de confiança (95%)			
			Absoluto	Relativo, %	Inferior	Superior
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,275	0,275
0,14	0,019	0,035	-0,016	-87,779	-0,259	0,329
0,27	0,182	0,270	-0,088	-48,749	-0,079	0,619
0,39	0,752	0,645	0,107	14,216	0,309	0,982
0,53	1,000	0,961	0,039	3,885	0,669	1,254
0,57	0,951	0,996	-0,045	-4,753	0,719	1,273
0,70	0,952	0,898	0,054	5,646	0,583	1,213
0,84	0,656	0,599	0,058	8,815	0,263	0,934
1,00	0,210	0,270	-0,060	-28,669	-0,097	0,637