

# CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS E FISIOLÓGICAS DE TRÊS CULTIVARES DE MILHO (1)

EDUARDO CARUSO MACHADO (2, 6), PEDRO ROBERTO FURLANI (2, 6),  
LORETE GERVÁRIO HANNA (3, 6), MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO (4, 6),  
ORIVALDO BRUNINI (4, 6) e HELOISA HELENA SALLA MAGALHÃES (5)

## RESUMO

A análise de crescimento de três cultivares de milho, de níveis heteróticos, portes e ciclos distintos, foi realizada visando avaliar os seguintes índices biométricos e fisiológicos: distribuição percentual de matéria seca entre as diversas partes de planta, taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento dos grãos, índice de área foliar e taxa de assimilação líquida. Esses índices foram determinados através da variação temporal da área foliar e da matéria seca das diversas partes da planta. Os cultivares IAC-Maya e IAC-Maya latente não apresentaram diferenças entre si quanto às características estudadas, porém diferiram do híbrido duplo precoce Cargill-601. No período imediatamente após o florescimento, os fotossintetizados produzidos em excesso à capacidade de enchimento dos grãos, foram armazenados principalmente nos colmos, sendo posteriormente reutilizados no período de maior crescimento dos grãos. Embora os cultivares IAC-Maya e IAC-Maya latente tenham apresentado maior capacidade fotossintética, foram menos eficientes que o híbrido duplo Cargill-601 na taxa de conversão de fotossintetizados em grãos. De maneira geral, os híbridos são mais eficientes que os cultivares na conversão de fotossintetizados em grãos, em vista do nível heterótico. Os valores dos índices de colheita para os cultivares IAC (Maya e Maya latente) e para o híbrido duplo precoce Cargill-601 foram, respectivamente, 0,37 e 0,50.

**Termos de indexação:** milho: análise de crescimento, índice de área foliar, índices fisiológicos, taxa de crescimento da cultura.

---

(1) Trabalho parcialmente financiado pelo Convênio FINEP/IAC. Recebido para publicação em 28 de maio de 1984.

(2) Seção de Fisiologia, Instituto Agrônomo (IAC), Caixa Postal 28, 13100 — Campinas (SP).

(3) Estagiária da Seção de Fisiologia, IAC.

(4) Seção de Climatologia Agrícola, IAC.

(5) Estagiária da Seção de Climatologia Agrícola, IAC.

(6) Bolsista do CNPq.

## 1. INTRODUÇÃO

A análise quantitativa do crescimento é um método que permite acompanhar a dinâmica de crescimento de comunidades vegetais. Vários índices fisiológicos, calculados a partir da variação temporal da matéria seca acumulada e da área foliar, têm sido utilizados com o objetivo de explicar diferenças na produtividade biológica (matéria seca total) e econômica de diferentes cultivares ou de um mesmo cultivar em diferentes ambientes (WATSON, 1952; RICHARDS, 1969; KVET et alii, 1971; EVANS, 1972; DUNCAN, 1975).

A análise de crescimento permite também acompanhar o padrão de distribuição dos produtos fotossintetizados durante o desenvolvimento da cultura (HUME & CAMPBELL, 1972). Em milho, praticamente todo produto fotossintetizado é originário das folhas (ALLISON & WATSON, 1966; DUNCAN, 1975; MAGALHÃES & SILVA, 1978), sendo parte utilizada para o crescimento das próprias folhas e, parte, exportada para outros órgãos. A capacidade fotossintética das folhas e a forma de distribuição dos produtos para os diversos órgãos condicionam a produtividade das culturas.

Este trabalho tem a finalidade de avaliar alguns índices biométricos e fisiológicos e o padrão de distribuição de matéria seca entre os órgãos da planta, durante o período de crescimento de três cultivares de milho de porte, ciclo e nível heterótico distintos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

No ensaio, conduzido no Centro Experimental de Campinas do Instituto Agrônomo (SP) numa área de aproximadamente 1ha, Latossolo Roxo, foram utilizados os cultivares de milho IAC-Maya e IAC-Maya latente, ambos de porte alto, e o híbrido duplo precoce Cargill-601, de porte menor, distribuídos em nove parcelas iguais, isto é, três por cultivar.

O plantio foi efetuado em 25/11/1981, no espaçamento de 0,9m entre linhas e 0,4m entre plantas, com duas plantas por cova.

Para a estimativa da variação temporal da matéria seca e área foliar das plantas, as amostragens foram iniciadas 15 dias após a emergência (DAE) e repetidas em intervalos de 14 dias até a maturação fisiológica. Em cada amostragem, foram coletadas 20 plantas, cortadas ao nível do solo, com três repetições por cultivar. Os pesos da matéria fresca total e dos diversos órgãos (folhas, colmos, sabugos e grãos) foram obtidos por pesagens efetuadas logo após cada coleta. Em seguida, retirou-se uma subamostra (-20% do total) e determinou-se o peso da matéria seca após secagem a 70°C durante

sete dias em estufa com circulação forçada de ar. Através da relação matéria seca da subamostra/matéria fresca da subamostra, foi estimado o peso da matéria seca total e dos diversos órgãos. A área foliar foi medida na subamostra com um integrador eletrônico. A relação área foliar da subamostra/peso da matéria seca da subamostra foi utilizada para determinar a área foliar total.

Utilizou-se a função logística  $Y = Y_{\max}/[1 + \exp(A + Bt)]$ , adotada anteriormente por MACHADO et alii (1982), para descrever a variação temporal da matéria seca total (P) e dos grãos (G). Os parâmetros  $Y_{\max}$ , A e B foram estimados estatisticamente através de regressão assintótica (STEVENS, 1951), sendo t o tempo em dias.

As taxas de crescimento da cultura (TCC) e dos grãos (TCG) foram obtidas pela derivada, em relação ao tempo, da matéria seca total e dos grãos respectivamente:

$$dY/dt = -Y_{\max}.B.\exp(A + Bt)/[1 + \exp(A + Bt)]^2.$$

A área foliar foi expressa por unidade de área de terreno, isto é, índice de área foliar (IAF).

A taxa de assimilação líquida (TAL) foi calculada por  $TAL = dP/dt.1/IAF = TCC/IAF$ , onde a variação temporal do IAF foi estimada graficamente.

A distribuição sazonal de matéria seca foi estimada pela razão entre a matéria seca do órgão considerado e a matéria seca da planta inteira, por exemplo: o índice de colheita (IC) foi expresso por matéria seca dos grãos/matéria seca total.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, os padrões de crescimento dos cultivares estudados foram semelhantes aos relatados por diversos autores (BRIGGS et alii, 1920a; 1920b; HANWAY & RUSSEL, 1969; LOPES & MAESTRI, 1973; SILVA et alii, 1974; TANAKA & YAMAGUCHI, 1977; MACKINNON et alii, 1978; MACHADO et alii, 1982) apresentando a forma sigmóide descrita pela função logística. Os parâmetros das funções ajustadas são apresentados no quadro I.

Com relação às características biométricas estudadas, os cultivares IAC-Maya e IAC-Maya latente não revelaram diferenças, sendo ambos adequadamente descritos pela mesma função (Figura 1A). Todavia, os valores médios da matéria seca foliar foram discretamente maiores para o 'IAC-

QUADRO 1 – Coeficientes das funções logísticas,  $Y = Y_{max}/[1 + \exp(A + Bt)]$ , selecionadas para descrever o acúmulo de matéria seca total e dos grãos ( $g \cdot m^{-2}$ ) em três cultivares de milho

Cultivar	Matéria seca total		Matéria seca dos grãos	
	IAC-Maya e IAC-Maya latente	Cargill-601	IAC-Maya e IAC-Maya latente	Cargill-601
Ymax	1.761,3	1.458,4	654,3	695,8
A	5,42774	5,20593	14,23995	14,68875
B	-0,07064	-0,06986	-0,13868	-0,16229

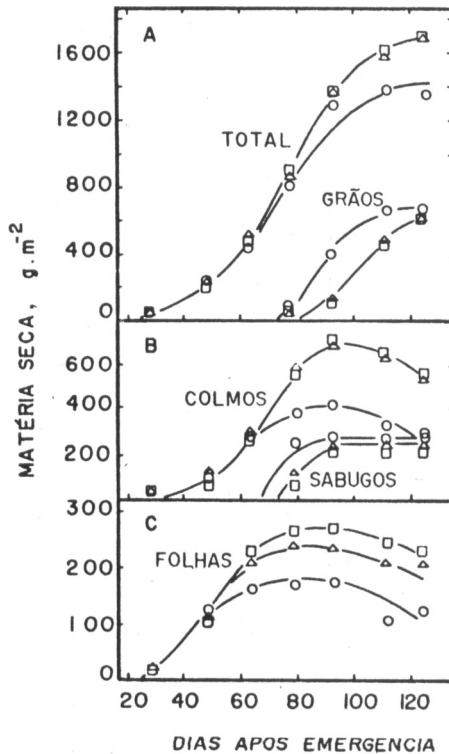


FIGURA 1 – Acúmulo de matéria seca em três cultivares de milho. Campinas (SP), 1982: □: IAC-Maya; Δ: IAC-Maya latente e ○: Cargill-601.

Maya'. Para fins de análise de comparação, 'IAC-Maya' e 'IAC-Maya' latente, chamadas simplesmente 'Maya', foram considerados conjuntamente nas comparações com o híbrido duplo Cargill-601. A produtividade biológica dos cultivares Maya no final do ciclo ( $1.681 \text{ g.m}^{-2}$ ), foi cerca de 25% maior que a do Cargill-601 ( $1.345 \text{ g.m}^{-2}$ ).

O padrão de crescimento dos colmos foi semelhante para os cultivares estudados, isto é, a matéria seca acumulada aumentou com o tempo até atingir um máximo ao redor dos 90–95 DAE, para então diminuir (Figura 1B). Os cultivares Maya acumularam 63% mais matéria seca nos colmos que o Cargill-601.

As folhas também apresentaram um padrão de crescimento semelhante, independente do cultivar. A matéria seca aumentou até um máximo ao redor dos 70–80 DAE, para depois sofrer uma queda gradativa até o final do ciclo (Figura 1C). Esta queda se deveu, principalmente, à senescência das folhas inferiores. Os cultivares Maya produziram cerca de 30% mais matéria seca foliar que o Cargill-601, aos 70-80 DAE.

Após o florescimento, a matéria seca dos sabugos aumentou rapidamente, atingindo um valor máximo ao redor dos 90–95 DAE, mantendo-se constante até o final do ciclo (Figura 1B). Os sabugos contribuíram com 30% ( $254 \text{ g.m}^{-2}$ ) e 29% ( $277 \text{ g.m}^{-2}$ ) da matéria seca total da espiga, respectivamente para os cultivares Maya e híbrido duplo Cargill-601. Esses resultados são compatíveis com os relatados por MACHADO et alii (1982), para outros cultivares.

O acúmulo de matéria seca nos grãos apresentou a forma sigmóide, sendo também descrito pela função logística, cujos parâmetros de ajuste são apresentados no quadro 1.

Apesar de as produções de matéria seca de colmos e folhas terem sido maiores nos cultivares Maya, o mesmo não ocorreu com relação aos grãos (Figura 1A). As produções finais de grãos para os cultivares Maya e híbrido duplo Cargill-601 foram, respectivamente,  $600$  e  $667 \text{ g.m}^{-2}$ . Os grãos do Cargill-601 atingiram um máximo de acúmulo ao redor dos 110 DAE, enquanto no Maya isso ocorreu aos 120 DAE.

A figura 2 ilustra a distribuição relativa sazonal de matéria seca entre os diversos órgãos das plantas. No período inicial de desenvolvimento, a maior parte do material produzido foi destinado ao crescimento das folhas, que aos 20 DAE representavam 63% de toda a matéria seca acumulada. Embora as folhas tivessem continuado a crescer, os outros órgãos também cresceram, tornando menor a contribuição relativa delas para o peso total das plantas. Os colmos apresentaram uma participação relativa crescente até os 65 e 80 DAE, para o híbrido duplo Cargill-601 e cultivares Maya respectivamente. Após o florescimento (ao redor dos 65 e 75 DAE

para o Cargill-601 e Maya respectivamente), praticamente toda a matéria seca produzida foi mobilizada para o desenvolvimento das espigas, particularmente dos grãos. É de notar a crescente contribuição relativa dos grãos para o peso total das plantas.

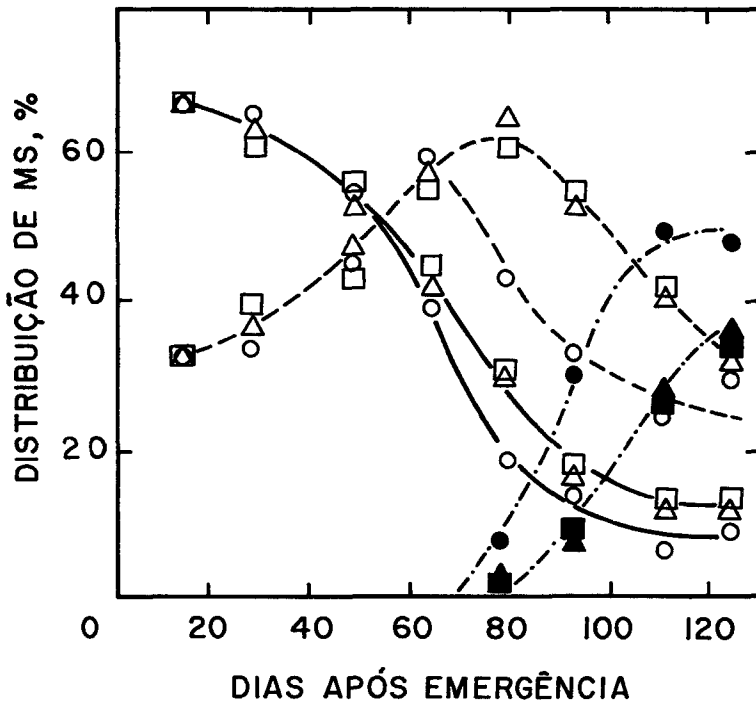


FIGURA 2 — Distribuição relativa sazonal de matéria seca das folhas/matéria seca total (—), matéria seca dos colmos/matéria seca total (---) e matéria seca dos grãos/matéria seca total (-.-.) em três cultivares de milho: □,■: IAC-Maya; △,▲: IAC-Maya latente e ○,●: Cargill-601.

O padrão de distribuição de matéria seca até os 50 DAE foi semelhante para os cultivares estudados. Aos 65 DAE, os colmos do híbrido duplo Cargill-601 alcançaram, percentualmente, a participação máxima, enquanto nos cultivares Maya isso ocorreu ao redor dos 80 DAE. A relação matéria seca dos colmos/matéria seca total, após os 50 DAE foi sempre maior nos cultivares Maya, ocorrendo o mesmo com a relação matéria seca das folhas/matéria seca total, porém menos acentuada. No entanto, a relação matéria seca dos grãos/matéria seca total (índice de colheita), foi 0,50 e 0,37, respectivamente, para o Cargill-601 e para os cultivares Maya. Esse

índice, que representa a eficiência de conversão de produtos fotossintetizados em material de importância econômica, mostra que, apesar de os cultivares Maya terem uma produtividade biológica maior, sua produção de grãos foi inferior à do Cargill-601, ou seja, os resultados sugerem que o híbrido duplo Cargill-601 foi mais eficiente na conversão de fotossintetizados em grãos, enquanto eles o foram na produção total de fotossintetizados. De maneira geral, os híbridos são mais eficazes que os cultivares na conversão de fotossintetizados em grãos em virtude do nível heterótico.

A figura 3 ilustra o comportamento da taxa de crescimento da cultura (TCC) e da taxa de crescimento dos grãos (TCG). Inicialmente, a TCC foi pequena, aumentando rapidamente até atingir um máximo por ocasião do florescimento, para depois diminuir progressivamente até a maturação. Os valores máximos da TCC foram  $30\text{g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , aos 80 DAE, e  $25\text{g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , aos 75 DAE para os cultivares Maya e híbrido duplo Cargill-601 respectivamente.

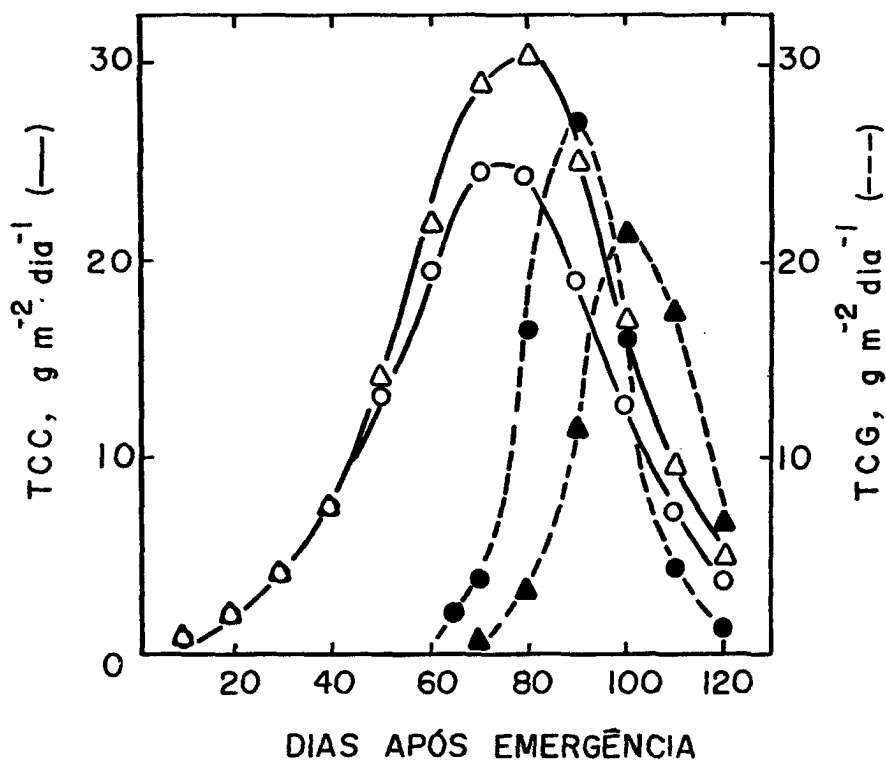


FIGURA 3 — Taxa de crescimento da cultura (TCC) (—) e dos grãos (TCG) (---) dos cultivares MAYA (Δ,▲) e CARGILL-601 (○,●).

Após o florescimento, no início do enchimento dos grãos, a TCG foi pequena, aumentando progressivamente até um máximo de  $27\text{g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  aos 90 DAE e  $23\text{g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  aos 100 DAE, para o híbrido duplo Cargill-601 e cultivares Maya respectivamente. O comportamento da TCC e TCG e os valores máximos atingidos foram compatíveis com os relatados por MACHADO et alii (1982) e SILVA et alii (1974) para outros cultivares de milho.

Após o florescimento, quando parece não haver mais crescimento estrutural (DUNCAN, 1975), a TCC foi maior que a TCG: o excesso de fotossintetizados possivelmente tivesse sido acumulado como reserva nos colmos, visto que no período correspondente ocorreu aumento na matéria seca dos colmos.

Após 80 DAE para o híbrido duplo Cargill-601 e 100 DAE para os cultivares Maya, a TCG tornou-se maior que a TCC e, coincidentemente, a matéria seca dos colmos diminuiu: é provável que o excesso de fotossintetizados acumulados anteriormente nos colmos tenha sido reutilizado para o crescimento dos grãos. Vários autores mostraram que os sólidos solúveis acumulados nos colmos, quando a capacidade de crescimento dos grãos é limitada, após o florescimento, quando a demanda é grande, são mobilizados para o crescimento dos grãos, podendo representar até 20% do seu peso final (DAYNARD et alii, 1969; CAMPBELL & HUME, 1970; HUME & CAMPBELL, 1972; DUNCAN, 1975; MACHADO et alii, 1982). Tal comportamento possivelmente esteja relacionado com a diferença entre a capacidade fotossintética da planta e a capacidade de enchimento de grãos nesse período (DAYNARD et alii, 1969; DUNCAN, 1975; MACHADO et alii, 1982).

Segundo MACHADO et alii (1982), a TCC pode também ser interpretada como o produto do IAF pela taxa de assimilação líquida (TAL), sendo, portanto, o IAF interpretado como um coeficiente entre TCC e TAL. As diferenças encontradas em TCC (Figura 3) entre os cultivares Maya e o híbrido duplo Cargill-601 foram devidas, principalmente, às diferenças em IAF (Figura 4). As diferenças observadas na TAL entre os cultivares Maya e o híbrido duplo Cargill-601 não foram suficientes para eliminar o efeito de IAF sobre a TCC. SILVA et alii (1974) e MACHADO et alii (1982) também mostraram um efeito maior de IAF que de TAL sobre a TCC, em outros cultivares de milho.

A queda da TCC nos 'Maya' e no Cargill-601 foi devida à queda tanto em IAF como em TAL.

Nos três cultivares estudados, a TAL aparentemente respondeu de forma positiva ao aumento da demanda por produtos fotossintetizados pelos órgãos reprodutivos, no período compreendido entre 60 e 80 DAE. Resultados semelhantes foram obtidos por MACHADO et alii (1982) em outros cultivares de milho.



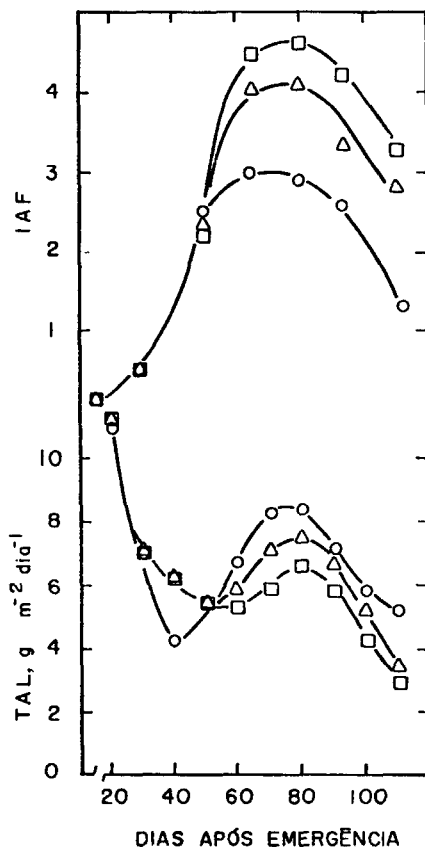


FIGURA 4 – Índice de área foliar (IAF) e taxa de assimilação líquida (TAL) para os cultivares de milho: □: IAC-Maya; Δ: IAC-Maya latente e ○: híbrido duplo Cargill-601.

Os índices de área foliar máximos foram ao redor de 4,4 e 4,0 para os cultivares IAC-Maya e IAC-Maya latente, respectivamente, e ao redor de 3,0 para o híbrido duplo Cargill-601.

#### 4. CONCLUSÕES

Os cultivares IAC-Maya e IAC-Maya latente praticamente não diferiram quanto às características biométricas e fisiológicas estudadas, permitindo que ambos fossem agrupados para análise comparativa com o híbrido duplo Cargill-601. Apenas o IAF foi discretamente maior no 'IAC-Maya'.

Os cultivares Maya, apresentando uma produção biológica 21% maior que o Cargill-601, mostraram possuir uma capacidade fotossintética maior. No entanto, o Cargill-601, com uma produção de grãos ( $667\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 12% maior, foi mais eficiente na conversão de fotossintetizado em grãos que os cultivares Maya ( $600\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ). O índice de colheita foi 0,50 e 0,37, respectivamente, para o híbrido duplo Cargill-601 e para os 'Maya'.

Os fotossintetizados produzidos em excesso à capacidade de enchimento de grãos foram armazenados principalmente nos colmos, sendo posteriormente reutilizados no período de grande demanda para o crescimento dos grãos. Portanto, os cultivares Maya apresentam um grande potencial de produção de grãos.

A taxa de assimilação líquida (TAL) aparentemente respondeu positivamente à demanda de fotossintetizados pelos órgãos reprodutivos, nos cultivares estudados.

#### SUMMARY

##### BIOMETRICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THREE MAIZE CULTIVARS

Growth analysis of three maize cultivars, of distinct vegetative cycles and plant heights, were carried out in order to estimate the following biometrical and physiological characteristics: dry matter distribution among the plant parts, crop growth rate, grain growth rate, leaf area index, and net assimilation rate. These characteristics were evaluated from the temporal variations of leaf area and dry matter accumulation among the plant parts. For all the characteristics determined, both IAC-Maya and IAC-Maya latente did not differ from each other, but were distinct from Cargill-601. Just after flowering the photosynthates produced in excess of the grain filling capacity were accumulated mainly in the stem being, however, available during the period of grain growth. Although IAC-Maya and IAC-Maya latente had higher photosynthetic capacity they were, however, less efficient than Cargill-601 in converting photosynthates to grain. The harvest indexes were 0.37 and 0.50, respectively, for IAC (Maya and Maya latente) and Cargill-601.

**Index terms:** maize, growth analysis, physiological index, leaf area index, crop growth rate.

#### AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Sra. Hermínia Leoni, funcionária da Seção de Fisiologia-IAC, a colaboração nas medidas de área foliar e matéria seca das plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, J.C.S. & WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. *Annals of Botany, N.S.*, 30:365-381, 1966.
- BRIGGS, G.E.; KIDD, F.A. & WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part I. *Annals of Applied Biology*, 7:103-123, 1920a.
- ; ————— & —————. A quantitative analysis of plant growth. Part II. *Annals of Applied Biology*, 7:202-223, 1920b.
- CAMPBELL, D.K. & HUME, D.J. Evolution of a rapid technique for measuring soluble solids in corn stalk. *Crop Science*, 10:621-625, 1970.
- DAYNARD, T.B.; TANNER, J.N. & HUME, P.J. Contribution of stalk soluble carbohydrates to grain yield in corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*, 9:831-834, 1969.
- DUNCAN, W.G. Maize. In: EVANS, L.T. *Crop Physiology: some case histories*. London, Cambridge University Press, 1975. p.23-50.
- EVANS, G.C. *The quantitative analysis of plant growth*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1972. 734p.
- HANWAY, J.J. & RUSSEL, W.A. Dry matter accumulation in corn (*Zea mays* L.) plants: comparisons among single-cross hybrids. *Agronomy Journal*, 61:947-951, 1969.
- HUME, D.J. & CAMPBELL, D.K. Accumulation and translocation of soluble solids in corn stalks. *Canadian Journal Plant Science*, 52:363-368, 1972.
- KVET, J.; ONDOK, J.P.; NECAS, J. & JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In: SESTAK, Z.; CATSY, J. & JARVIS, P.G., eds. *Plant photosynthetic production, manual of methods*. The Hague. Netherlands, W. Junk N.V., 1971. p.343-384.
- LOPES, N.F. & MAESTRI, M. Análise de crescimento e conversão de energia em populações de milho (*Zea mays* L.) em Viçosa, Minas Gerais. *Revista Ceres, Viçosa*, 20:189-201, 1973.
- 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 de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, 17: 825-833, 1982.
- MACKINNON, J.C.; CARTLEY, C.H. & WILKE, K.I. Energy efficiency of forage maize production in an Atlantic Canadian environment. *Journal of Applied Ecology*, 15:503-514, 1978.

- MAGALHÃES, A.C.N. & SILVA, W.J. da. Determinantes genético-fisiológicos da produtividade do milho. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Melhoria e produção do milho no Brasil, coord. por E. Paterniani. [São Paulo.] 1978. p.349-375.
- RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWART, F.C. Plant physiology. A treatise analysis of growth: behaviour of plants and their organs. London, Academic Press, 1969. v.5a, p.13-76.
- SILVA, W.J. da; MONTOJOS, J.C. & PEREIRA, A.R. Análise de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliada em duas densidades de população. Ciência e Cultura, São Paulo, 26:360-365, 1974.
- STEVENS, W.L. Asymptotic regression. Biometrics, 7:247-267, 1951.
- TANAKA, A. & YAMAGUCHI, J. Produccion de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano em maíz. Journal Faculty Agriculture, Sapporo, Japan, 57:71-132, 1977.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy, 4:101-145, 1952.