

ÁREA FOLIAR EM TRÊS CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR E SUA CORRELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE BIOMASSA¹

Ricardo Augusto de Oliveira², Edelclaiton Daros³, José Luis Camargo Zambon³,
Heroldo Weber³, Oswaldo Teruyo Ido³, João Carlos Bernaldo-Filho³,
Katia Christina Zuffellato-Ribas⁴, Darana Kelly Tramujas da Silva²

ABSTRACT

LEAF AREA IN THREE SUGAR-CANE CULTIVARS AND ITS RELATIONSHIP WITH BIOMASS PRODUCTION

The objective of this research was to evaluate the leaf area development of sugarcane cultivars, in cane-plant, and its influence on final stalk yield. The experiment was carried out at the Paraná State Federal University Experimental Station in Paranavaí, Paraná State, between March 4th, 2002 and July 14th, 2003. A randomized complete block design with split plot in time arrangement was used, with five replications. The treatments were composed of three varieties (RB72454, RB855113, and RB855536) in nine sampling times. The plot had twelve rows with 6.0 m long and 1.4 m row spacing. The number of green leaves, leaf area, leaf and stalk dry matter, and LAI were determined in the nine samplings during the 497 days cycle. To determine the stalk yield of varieties (tones of cane per hectare – TCH), the last three sampling times were considered (377, 428, and 497 days after planting – DAP). The high values for LAI, observed from 231 to 428 DAP, for cultivar RB855113, has influenced significantly the final production of stalks per hectare. At the end of the cycle, the cultivar RB72454 that showed the largest leaf dry matter and LAI presented the largest TCH.

KEY WORDS: *Saccharum*, cane-plant, leaf area, LAI.

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de avaliar desenvolvimento do sistema foliar em cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, e sua influência sobre o rendimento final. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Paranavaí, no Estado do Paraná, entre 4 de março de 2002 e 14 de julho de 2003. Foi utilizado delineamento experimental em blocos completos casualizados, com parcelas subdivididas no tempo e cinco repetições. Os tratamentos foram três cultivares, RB72454, RB855113 e RB855536, avaliadas em nove épocas de amostragem. As parcelas foram constituídas de doze linhas de 6,0 m, com espaçamento de 1,4 m entre linhas. Foi determinado o número de folhas verdes, área foliar, a massa seca de folhas e de colmos, e índice de área foliar (IAF), nas nove amostragens durante o ciclo (497 dias). O rendimento das cultivares (toneladas de cana por hectare – TCH) foi determinado considerando-se as três últimas épocas de amostragem (377, 428 e 497 dias após o plantio – DAP). Os elevados valores de IAF, observados dos 231 aos 428 DAP para a cultivar RB855113, podem ter influenciado de maneira significativa o rendimento final da cana (TCH). Ao final do ciclo, a cultivar RB72454, que teve a maior produção de massa seca de folhas e IAF, foi a que apresentou também o maior rendimento em TCH.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum*, cana-planta, área foliar, IAF.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar está instalada em uma área superior a cinco milhões de hectares, produzindo mais de 385 milhões de toneladas de cana por safra. O Brasil desponta como líder mundial em exportações de açúcar, além de ser líder mundial na utilização desta planta como fonte de energia renovável. No Estado do Paraná, a cana-de-

açúcar ocupa uma área de 380 mil hectares, com uma produção anual de 28 milhões de toneladas (Alcopar 2006).

O estudo da área foliar em cultivares de cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o seu potencial produtivo, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento. A folha é a estrutura responsável pela produção da maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos

1. Trabalho recebido em jul./2005 e aceito para publicação em jan./2007 (registro nº 650).

2. Programa de Pós Graduação em Agronomia / Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: rico@ufpr.br
3. Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, UFPR. C. Postal 2959, CEP 80035-050 Curitiba, PR.
4. Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

vegetais (Hermann & Câmara 1999). Benincasa (1988) relata que as folhas são os órgãos responsáveis por 90% da massa seca acumulada nas plantas, resultante da atividade fotossintética. Assim, fatores como temperaturas elevadas em períodos de estresse hídrico causam a diminuição da área foliar, pois aceleram o processo de senescência das folhas verdes (Inmam-Bamber 2004). Neste sentido, Wahid (2004) acrescenta que em condições de estresses ambientais, genótipos sensíveis seriam mais prejudicados por reduzirem sua massa de folhas e sua área foliar. Além desses fatores, a deficiência de nitrogênio também pode reduzir a capacidade fotossintética (Meinzer & Zhu 1998).

Leme *et al.* (1984) citam que o índice de área foliar (IAF) é efetivo para avaliar a rendimento final, sendo que os maiores valores durante o ciclo de desenvolvimento estariam relacionados com a maior produção final de colmos. Nesse sentido, o conhecimento da dinâmica de desenvolvimento da área foliar, bem como da arquitetura do sistema foliar, em diferentes cultivares de cana-de-açúcar, poderá permitir melhor compreensão das relações destas características com o rendimento final.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da área foliar de três cultivares de cana-de-açúcar, em ciclo de cana-planta, na região noroeste do Estado do Paraná, correlacionando o seu efeito com a produção de biomassa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo, no ano agrícola de 2002/2003 na Estação Experimental de Paranaíba, sob coordenação do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná. A estação está localizada no Município de Paranaíba-PR, região noroeste do Estado, entre as coordenadas 23°05' de latitude Sul e 52°26' de longitude Oeste, com altitude média de 470 m. O solo foi classificado como Latossolo vermelho distrófico. Os dados de precipitação pluviométrica mensal (mm) foram coletados na Estação Meteorológica do Iapar/Simepar, em Paranaíba, no período de março de 2002 a julho de 2003 (Tabela 1).

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado em 4 de março de 2002. Adotou-se o sistema de plantio manual (convencional), em que os toletes são distribuídos dentro dos sulcos de plantio, sendo colocados seis toletes com três gemas cada em cada

Tabela 1. Precipitação pluviométrica mensal (mm)¹ ocorrida no período de março de 2002 a julho de 2003 (município de Paranaíba-PR, agosto de 2003).

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2002											
-	-	-	-	379	2	65	47	136	42	189	76
2003											
285	184	137	124	47	56	65	-	-	-	-	-

¹- Dados disponibilizados pelo Iapar/Simepar – Estação Meteorológica de Paranaíba-PR.

metro de sulco. As parcelas experimentais foram compostas de doze linhas de 6,0 m, com espaçamento de 1,40 m entre linhas. A adubação de base utilizada foi 20 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de K₂O e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Foram feitas coletas periódicas nas seguintes épocas após o plantio: 84, 135, 182, 231, 279, 323, 377, 428 e 497 dias após o plantio (DAP). Em cada época foram obtidas amostras em 1,0 m de sulco, sendo determinadas as massas secas de colmos, de folhas e do total (folhas + colmos), em média por perfilho. Para secagem do material verde, foi feita a identificação das amostras e colocadas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura média de 70°C até peso constante, seguido da pesagem das massas secas de colmos, folhas e total.

A área foliar por perfilho (AF) foi determinada por meio da contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições nas folhas +3, sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999): $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$, em que C é o comprimento da folha +3, L é a largura da folha +3, 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, e N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

Para a contagem do número de perfilhos e o número de folhas verdes de cada perfilho também foram amostrados os perfilhos em 1,0 m de sulco. O número médio de folhas verdes por perfilho, em cada unidade experimental, foi determinado considerando-se as folhas com pelo menos 20% de área foliar verde.

O experimento foi conduzido sob delineamento experimental em blocos completos casualizados, em arranjo de parcelas subdivididas no tempo, com cinco repetições por época. Os tratamentos foram representados por três cultivares de cana-de-açúcar

(RB72454, RB855113 e RB855536) e nove épocas de amostragens. As variáveis analisadas foram: número de perfilhos por m², número de folhas verdes por perfilho, massa seca de colmos, de folhas e do total (colmo + folhas), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF). O desenvolvimento desses atributos ao longo do ciclo da cultura foi avaliado por análise de regressão (equação quadrática), considerando as épocas de avaliação como variável dependente.

Para estimar o rendimento das cultivares, foi considerado os dados referentes à três últimas épocas (377, 428 e 497 DAP). O rendimento final em tonelada de cana por hectare (TCH) foi determinado pelo método descrito por Martins & Landell (1995), que define: $TCH = D^2 \times NCM \times H \times (0,007854/ESP)$, em que D é o diâmetro do colmo medido na porção basal próximo ao solo; NCM, o número de colmos em 1,0 m de sulco; H, a altura média dos perfilhos amostrados; ESP, o espaçamento entre linhas de cultivo (1,40 m); e 0,007854 é o fator de correção apropriado.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias das cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Determinou-se, ainda, a correlação linear entre a massa seca total (kg m⁻²) e as variáveis número de perfilhos por m², número de folhas verdes, AF e IAF. Para as análises utilizou-se o programa estatístico Mstat (1983).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de perfilhos por metro quadrado e o número de folhas verdes por perfilho, nas cultivares RB72454, RB855113 e RB855536, em cada época de amostragem, estão representados nas Figuras 1 e 2. Os resultados evidenciam uma tendência de aumento no número de folhas verdes até os 428 DAP, embora haja menor número de folhas até os 231 DAP; período este que corresponde ao final da fase de maior perfilhamento da cana-de-açúcar na região (Figura 1). A partir desta época ocorreu aumento no número de folhas verdes, culminando aos 377 DAP, quando as cultivares RB72454 e RB855113 apresentaram o maior número folhas verdes. Para a cultivar RB855536, o maior número observado de folhas verdes ocorreu aos 428 DAP (Figura 2).

Ramesh (2000) relata que, passada a fase de intenso crescimento (279 a 377 DAP), a cultura diminui o gasto de energia para produção de folhas verdes.

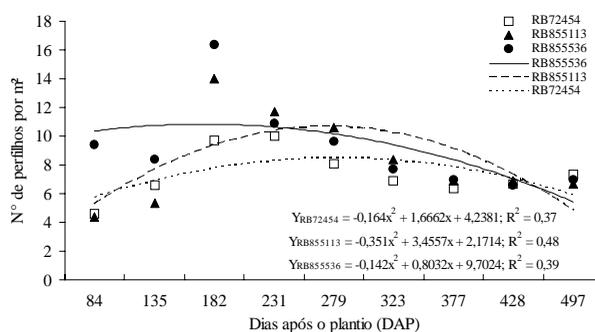


Figura 1. Número de perfilhos por m² para as cultivares RB72454, RB855113 e RB855536, em nove épocas de avaliação, no ciclo de cana-planta (Estação Experimental de Paranavaí, 2002/2003).

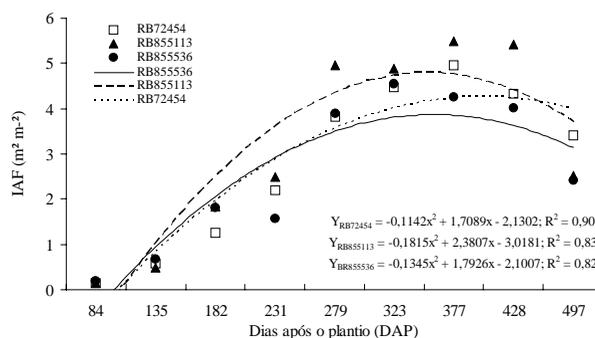
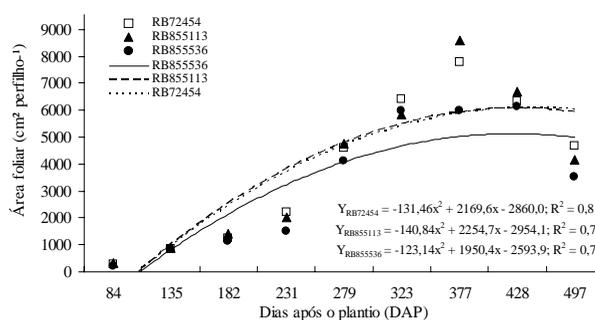
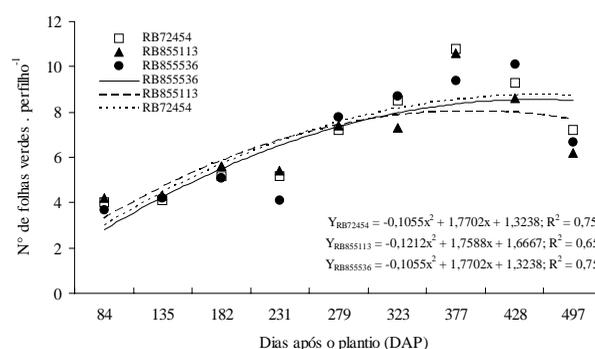


Figura 2. Número de folhas verdes por perfilho, área foliar (cm² perfilho⁻¹) e índice de área foliar – IAF (m² m⁻²) para as cultivares RB72454, RB855113 e RB855536, em nove épocas de avaliação, no ciclo de cana-planta (Estação Experimental de Paranavaí, 2002/2003).

Os resultados obtidos, entretanto, evidenciaram que esse comportamento depende da cultivar. Por exemplo, a cultivar RB855536 apresentou aumento no número de folhas verdes até os 428 DAP, período que corresponde à fase de maturação, como citam diversos autores (Machado 1987, Ramesh 2000, Ido 2003).

Conforme os resultados de área foliar (Figura 2), percebe-se que as cultivares RB72454 e RB855113 apresentaram praticamente o mesmo comportamento. Houve tendência da cultivar RB855536 produzir menor área foliar por perfilho do que as outras duas. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo fato desta cultivar ter produzido maior número de perfilhos nesta fase (até os 182 DAP), compensando em menor área foliar por perfilho. Ramesh & Mahadevaswamy (2000), estudando o efeito da seca nas diferentes fases do ciclo da cana-de-açúcar, constataram que cultivares com menor perfilhamento, além de apresentarem menores porcentagens de mortalidade dos perfilhos, possuem perfilhos com maior estatura, diâmetro de colmo e maior massa seca.

Verificou-se que a ocorrência dos maiores índices de área foliar ocorreu no período de dezembro a abril (Figura 2). Fase que o IAF ficou mais constante e próximo de 4,0. Após esta fase, as cultivares diminuíram o número de folhas e a área foliar por perfilho, sendo que RB855113 apresentou a maior redução (52%), registrada entre 377 DAP e a colheita (497 DAP). Estes resultados concordam com os de Machado *et al.* (1982) e Ido (2003), que apontam o maior crescimento da parte área de cana-de-açúcar nos meses de janeiro a março, devido às adequadas condições de temperatura e precipitação pluviométrica. Acresce-se a isso o fato de a área foliar fotossinteticamente ativa já ter se estabilizado, aliado à disponibilidade hídrica térmica e luminosa.

O aumento de biomassa, em termos de massa seca foliar, pode ser considerado crescente durante o ciclo de desenvolvimento das cultivares, embora tenha sido registrada na colheita (497 DAP) uma pequena diminuição na massa seca de folhas nas cultivares RB855113 e RB855536 (Figura 3). De acordo com Machado *et al.* (1982), após cem dias de ciclo, a massa seca de folhas representa 70% de toda a massa seca da planta; depois desta fase ocorre diminuição progressiva até que, ao redor de 400 DAP, a quantidade de massa seca das folhas representa apenas 9% de toda massa seca acumulada pela planta.

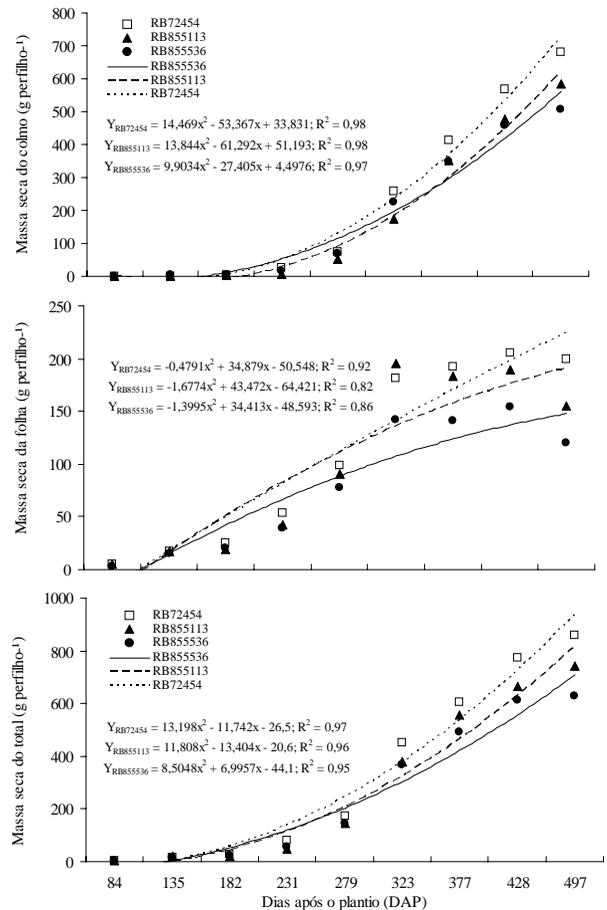


Figura 3. Massa seca do colmo, da folha e do total (g perfilho⁻¹) para as cultivares RB72454, RB855113 e RB855536, em nove épocas de avaliação, no ciclo de cana-planta (Estação Experimental de Paranavaí, 2002/2003).

Portanto, nota-se pelo presente estudo, que na fase final o acúmulo de massa seca nas folhas manteve-se mais constante, enquanto o acúmulo de massa seca nos colmos resultou em taxas maiores do que na fase inicial.

Os valores máximos de IAF nas cultivares ocorreu entre 323 a 377 DAP, seguido de uma redução causada pela diminuição do número de folhas verdes na fase de maior senescência destas folhas (Figura 2). Para Gomide & Gomide (1999), esta redução no número de folhas e AF seriam em razão da idade avançada das folhas, aliada ao aumento da atividade respiratória para a sua manutenção. Entre as cultivares, RB72454 apresentou uma taxa crescimento em IAF mais constante, sendo que o índice máximo ocorreu somente aos 428 DAP, chegando ao final do ciclo com o maior IAF entre as cultivares estudadas. Nesse sentido, Machado *et al.* (1982)

relatam que o IAF ideal estaria em torno de 4,0, o que seria suficiente para interceptar aproximadamente 95% da radiação solar incidente. Larcher (2000) relata que este índice (4,0) corresponderia a quatro camadas de folhas. Na presente pesquisa, entretanto, observou-se que este índice seria resultante de cerca de oito folhas dispostas alternadas, como pode ser observado aos 323 DAP. Para Medina *et al.* (1970), valores de IAF acima de 4,0 seriam desfavoráveis para a fotossíntese, pois proporcionariam uma aceleração no processo de senescência das folhas. Neste sentido, verifica-se que a cultivar RB855113 obteve os maiores valores de IAF, o que de fato não repercutiu na maior produtividade entre as cultivares (Tabela 2).

Terauchi & Matsuoka (2000) relatam que as características ideais de cultivares de cana-de-açúcar estariam relacionadas com o rápido crescimento e desenvolvimento na fase inicial, que corresponde ao perfilhamento. Portanto, para se ter rápido crescimento nesta fase, necessitar-se-ia de características morfológicas que favorecessem a interceptação da radiação solar. Os resultados obtidos com a cultivar RB72454 evidenciam um crescimento mais lento e constante durante o ciclo, no que tange ao perfilhamento (Figura 1) e IAF (Figura 2), o que acaba resultando em maior acúmulo de biomassa (Figura 3), relativamente às outras cultivares. Assim, ao final do ciclo de desenvolvimento, tais características podem ter proporcionado a sua maior produtividade em TCH (Tabela 2). Logo, evidencia-se a sua alta capacidade de conversão dos fotoassimilados em massa foliar e, conseqüentemente, no seu maior rendimento.

Diversas variáveis influenciam o IAF, entre essas, o número de perfilhos, o número de folhas verdes, o tamanho e a largura destas folhas, a eficiência fotossintética delas, além da influência dos genótipos e dos fatores ambientais. Neste sentido, verificou-se que as cultivares apresentaram diferentes comportamentos. Nas primeiras épocas a cultivar RB855536 apresentou o maior número de perfilhos até os 182 DAP (Figura 1), porém, este comportamento não refletiu em aumento no IAF (Figura 2) e na produção de massa foliar total (Figura 3), quando comparado às demais cultivares. Terauchi & Matsuoka (2000) relatam que o elevado perfilhamento na fase inicial pode ser uma característica inadequada à obtenção de novos cultivares de cana-de-açúcar, pois isso promoveria um gasto energético maior para

Tabela 2. Toneladas de cana por hectare (TCH), nas cultivares RB72454, RB855113 e RB855536, em três épocas de amostragem (Estação Experimental de Paranavaí, 2002/2003).

Cultivares	Dias após o plantio (DAP)		
	377	428	497
RB72454	136,8 a ¹	158,5 a	197,7 a
RB855113	116,5 b	131,7 b	133,1 b
RB855536	122,3 ab	119,1 b	140,3 b

¹ - Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

a produção destes perfilhos, não refletindo em aumento de produtividade. A correlação negativa entre número de perfilhos e produção de massa seca total ($r = -0,65$; $p < 0,05$), observada para a cultivar RB855536 (Tabela 3), é uma evidência em favor desta hipótese.

Tabela 3. Coeficientes de correlação da massa seca total (kg m^{-2}) com as variáveis: número de perfilhos por m^2 (NP), número de folhas verdes por perfilho (NFP), área foliar (AF) ($\text{cm}^2 \text{perfilho}^{-1}$) e índice de área foliar (IAF) (m^2), para as cultivares RB72454, RB855113 e RB855536 (Estação Experimental de Paranavaí, 2002/2003).

Variáveis	RB72454	RB855113	RB855536
	Massa seca (kg m^{-2})		
NP	-0,17 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,65*
NFP	0,76*	0,72*	0,82**
AF	0,78*	0,82**	0,84**
IAF	0,76*	0,69*	0,72*

ns: valores não significativos a 5% de probabilidade; * e **: valores significativos a 5% e 1% de probabilidade.

Ao se correlacionar IAF e produtividade em TCH, Leme *et al.* (1984) observaram correlação positiva, sendo que as cultivares com os maiores valores médios de IAF mostraram maior rendimento final (TCH). No presente estudo, ao se correlacionar IAF e produção de massa seca total (Tabela 3), notou-se também uma correlação positiva ($r \cong 0,70$; $p < 0,05$), independentemente da cultivar. Ademais, observou-se que tanto o número de folhas como a área foliar por perfilho contribuíram fortemente para tal correlação, sempre com associações positivas e de elevada magnitude.

CONCLUSÕES

1. O elevado perfilhamento, aliado à maior área foliar por m^2 , pode ter influenciado negativamente a produção de massa seca total da cultivar RB855536, diminuindo o seu potencial de rendimento.

2. A cultivar RB72454 obteve valores intermediários de IAF (em torno de 4,0) durante a fase de intenso crescimento (279 a 377 DAP), mantendo esse índice até o final do ciclo (497 DAP). Isso pode ter influenciado positivamente o seu rendimento final (TCH), possivelmente pelo menor gasto energético para a produção de folhas.

REFERÊNCIAS

- Alcopar. 2006. Estatísticas: histórico de produção da cana-de-açúcar no Brasil e no Paraná. <www.alcopar.org.br>. Acesso em: nov. 2006.
- Benincasa, M.M.P. 1988. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Funep, Jaboticabal. 42 p.
- Gomide, C.A.M. & Gomide, J.A. 1999. Análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. Revista Brasileira de Zootecnia, 28: 675-680.
- Hermann, E.R. & G.M.S. Câmara. 1999. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. Revista da STAB, 17: 32-34.
- Ido, O.T. 2003. Desenvolvimento radicial e caulinar, de três variedades de cana-de-açúcar, em Rizotron, em dois substratos. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 141 p
- Inman-Bamber, N.G. 2004. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. Field Crops Research, 89: 107-122.
- Larcher, W. 2000. Ecofisiologia Vegetal. Trad. C.H.B.A. Prado. Rima, São Paulo. 531 p.
- Leme, E.J.A., M.A. Maniero & J.C. Guidolin. 1984. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. Cadernos Planalsucar, 2: 3-22.
- Machado, E.C. 1987. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. p. 56-87. In S.B. Paranhos (Coord.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Fundação Cargill, Campinas. v. 1, cap. 1. 432 p.
- Machado, E.C., A.R. Pereira, J.I. Fahl, H.V. Arruda & J. Cione. 1982. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 17: 1323-1329.
- Martins, L.M. & M.G.A. Landell. 1995. Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC. Instituto Agrônomo – IAC, Pindorama. 45 p.
- Medina, E., J.J. San José & P.E. Sequeira. 1970. Análisis de la productividad en caña de azúcar: III. Respiración en la oscuridad de hojas y tallos de cinco variedades de caña de azúcar y pérdidas nocturnas de matéria seca. Turrialba, 20: 302-306.
- Meinzer, F.C. & J. Zhu. 1998. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C₄CO₂ concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. Journal of Experimental Botany, 49: 1227-1234.
- Mstat. 1983. Microcomputer statistical program. Michigan State University, Michigan.
- Ramesh, P. 2000. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. Journal of Agronomy and Crop Science, 185: 83-89.
- Ramesh, P. & M. Mahadevaswamy. 2000. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science, 185: 249-258.
- Terauchi, T. & Matsuoka, M. 2000. Ideal characteristics for the early growth of sugarcane. Japanese Journal of Crop Science, 69: 286-292.
- Wahid, A. 2004. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 45: 133-141.