

RELAÇÕES RADIOMÉTRICAS DE UMA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR (1)

EDUARDO CARUSO MACHADO (2,4), ANTONIO ROBERTO PEREIRA (3), MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO (3,4) e JOEL IRINEU FAHL (2,4)

RESUMO

Durante o período de máximo índice de área foliar de uma cultura de cana-de-açúcar, cv. NA56-79, os coeficientes de reflexão, transmissão e absorção da radiação solar incidente variaram em função do ângulo de incidência dos raios solares e da faixa espectral considerada. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi sempre menos refletida e transmitida e mais absorvida que a radiação do infravermelho próximo (NIR). Em geral, para as frações consideradas, obtiveram-se as seguintes relações radiométricas: (1) radiação disponível, $NPAR = 1,2 NNIR$; (2) radiação refletida, $RPAR = 0,1 RNIR$; (3) radiação transmitida, $TPAR = 0,2 TNIR$; (4) radiação absorvida, $APAR = 1,6 ANIR$.

Termos de indexação: radiação fotossinteticamente ativa; radiação do infravermelho próximo; coeficiente de reflexão; coeficiente de transmissão; coeficiente de absorção.

(1) Trabalho parcialmente financiado pelo Projeto Bioconversão, Convênio FINEP-CODETEC-IAC. Recebido para publicação em 18 de maio de 1984.

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

(3) Seção de Climatologia Agrícola.

(4) Com bolsa de suplementação do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

A interceptação da radiação solar pelas folhas de uma cultura resulta na atenuação da densidade de fluxo ao longo da altura das plantas, no sentido do topo para a base. Resultados de SAEKI (1960, 1963), ALLEN et alii (1964), YOCUM et alii (1964) e de muitos outros mostram que a densidade de fluxo dentro da cobertura vegetal (dossel) decresce exponencialmente em função do índice de área foliar acumulado de cima para baixo.

Ao ser interceptada pelo dossel, a radiação solar pode ser absorvida, transmitida e refletida em proporções variáveis, dependendo do ângulo de incidência dos raios solares e das características estruturais das plantas. Tais características estão intimamente relacionadas com a disposição espacial das folhas, ângulo de inserção foliar, índice de área foliar e propriedades óticas da vegetação.

A composição espectral da radiação é modificada ao ser interceptada pela comunidade vegetal, visto que as folhas apresentam características seletivas quanto ao comprimento de onda incidente. Em geral, a fração fotosinteticamente ativa (PAR) é menos refletida e mais absorvida pela vegetação que a fração do infravermelho próximo (NIR) da radiação solar, acarretando enriquecimento da fração PAR disponível à cultura. Portanto, a razão PAR/NIR decresce com a profundidade dentro da vegetação (McCREE, 1968; ANDERSON, 1969; SZEICZ, 1974; ROSS, 1975).

As interações da radiação solar com as plantas condicionam o microclima interno da cobertura vegetal, e a quantidade e a qualidade da radiação disponível dentro do dossel afetam os processos fisiológicos das plantas.

O presente trabalho tem como objetivo descrever algumas relações radiométricas observadas numa cultura de cana-de-açúcar no período de máximo índice de área foliar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As observações radiométricas foram realizadas acima e dentro de uma cultura de cana-de-açúcar, cv. NA 56-79, cultivada numa área de 3ha na Estação Experimental do Instituto Agrônomo, em Piracicaba (SP), localizada a aproximadamente 570m de altitude, na latitude de 22°42'S. e longitude 47°38'W. As linhas de plantio foram orientadas no sentido leste-oeste, espaçadas de 1,4m com nove plantas/metro quadrado. Na época das observações (abril 1979), a cultura tinha aproximadamente 13 meses de idade e um índice de área foliar (IAF) igual a 3,7.

Utilizou-se o método descrito em PEREIRA et alii (1982), onde a radiação solar incidente (I) sobre uma cultura foi decomposta em seus componentes mais expressivos quanto à capacidade fotossintética das plantas, ou seja, radiação fotossinteticamente ativa (IPAR) e radiação do infravermelho próximo (INIR):

$$I = IPAR + INIR. \tag{1}$$

As relações $p = IPAR/I$ e $q = INIR/I$ definem, respectivamente, as frações PAR e NIR da radiação incidente. Observações, entre nós, de SANTOS et alii (1976) e PEREIRA et alii (1982) indicam ser $p = 0,46$ e $q = 0,54$ para o local e época do experimento.

A radiação refletida (R) pela cultura foi, similarmente, decomposta em RPAR e RNIR. As razões $r_{PAR} = RPAR/IPAR$ e $r_{NIR} = RNIR/INIR$ definem, respectivamente, os coeficientes de reflexão das frações PAR e NIR. O coeficiente de reflexão global (r) é dado pela média ponderal de r_{PAR} e r_{NIR} , i.e.:

$$r = p \cdot r_{PAR} + q \cdot r_{NIR}. \tag{2}$$

Como $p \approx q \approx 0,5$ e $r_{PAR} \ll r_{NIR}$, a equação (2) pode ser reduzida a $r \approx 0,5 r_{NIR}$.

A radiação solar disponível à cultura, em cada fração considerada, é dada por

$$NPAR = IPAR - RPAR, \tag{3}$$

e

$$NNIR = INIR - RNIR, \tag{4}$$

ou

$$NPAR = (1 - r_{PAR}) p I, \tag{5}$$

e

$$NNIR = (1 - r_{NIR}) q I. \tag{6}$$

Parte da radiação solar disponível é transmitida para o interior da cobertura (TPAR, TNIR) e parte é absorvida pelas plantas (APAR, ANIR), ou seja:

$$NPAR = TPAR + APAR, \tag{7}$$

e

$$NNIR = TNIR + ANIR. \tag{8}$$

Experimentalmente, a radiação absorvida foi estimada pelas equa-

ções (7) e (8), conhecendo-se as radiações disponível (NPAR, NNIR) e transmitida (TPAR, TNIR). Os coeficientes $t_{PAR} = TPAR/IPAR$, $t_{NIR} = TNIR/INIR$, $a_{PAR} = APAR/IPAR$ e $a_{NIR} = ANIR/INIR$ definem, respectivamente, os coeficientes de transmissão (t) e absorção (a) das frações PAR e NIR. Pelo princípio de conservação de energia, tem-se que:

$$r_{PAR} + t_{PAR} + a_{PAR} = 1 \quad (9)$$

e

$$r_{NIR} + t_{NIR} + a_{NIR} = 1. \quad (10)$$

O instrumental utilizado para as observações está descrito no quadro 1. Para medir a radiação transmitida ao nível do solo, utilizaram-se seis tubos solarímetros (SZEICZ et alii, 1964) de 60cm² de área sensível cada um, arranjados em dois conjuntos de três tubos ligados em série e distribuídos de forma a amostrar a área entre duas linhas de plantas. O arranjo instrumental utilizado mediu uma condição espacial média dentro da vegetação, numa tentativa de minimizar os efeitos da variação espacial da radiação dentro do dossel. Um conjunto mediu a radiação global transmitida (T) e outro, coberto com filtro seletivo, mediu TNIR. Obteve-se TPAR pela relação $T = TPAR + TNIR$.

QUADRO 1 – Instrumental utilizado para as observações radiométricas

Radiação Solar	Instrumento	Filtro	Faixa Espectral
			nm
Incidente			
I	Eppley Model PSP	WG-7	285-2800
INIR	Eppley Model PSP	RG-8	700-2800
IPAR	I – INIR		285-700
Refletida			
R	Tubo-solarímetro, ELTEC-JE		300-2700
RNIR	Tubo-solarímetro, ELTEC-JE	Kodak 88-A	> 700
RPAR	R – RNIR		300-700
Transmitida			
T	Tubo-solarímetro, ELTEC-JE		300-2700
TNIR	Tubo-solarímetro, ELTEC-JE	Kodak 88-A	> 700
TPAR	T – TNIR		300-700

Os impulsos gerados pelos sensores foram registrados em potenciôgrafos e as médias, a cada 15 minutos, foram obtidas planimetricamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de reflexão (r) é uma característica importante da cultura, visto que engloba os efeitos de muitos fatores físicos e biológicos, tais como a elevação solar (B), o tamanho, a estrutura e a geometria das plantas, o tamanho, a anatomia e a idade das folhas, o arranjo das plantas no campo etc.

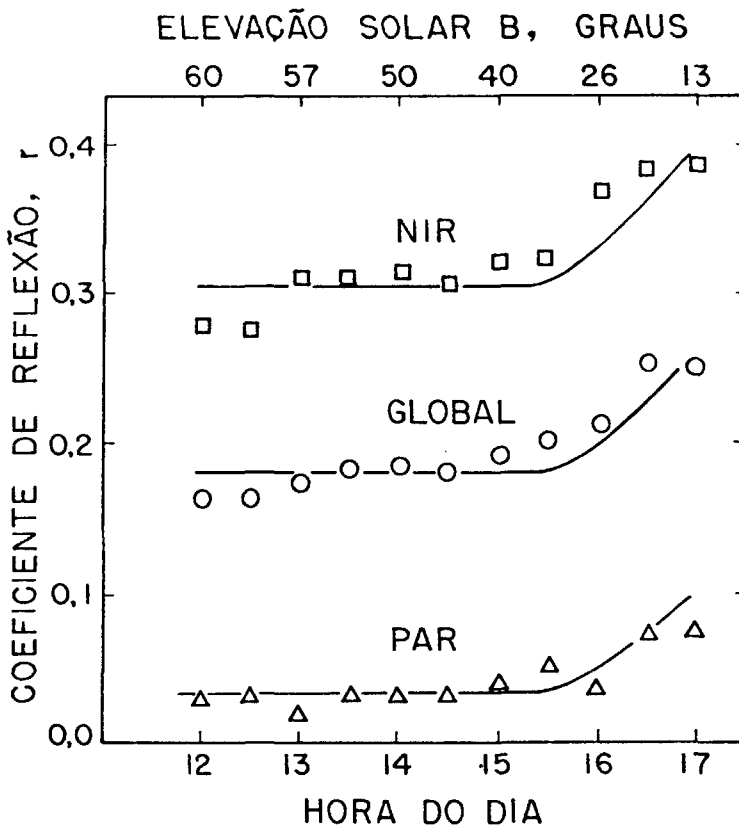


FIGURA 1 – Variação diária do coeficiente de reflexão da radiação solar incidente numa comunidade de cana-de-açúcar, cv. NA56-79.

A figura 1 evidencia a natureza seletiva da vegetação quanto à qualidade da radiação incidente. Nota-se que r_{PAR} foi sempre menor que r_{NIR} , sendo ambos função de B . Resultados similares têm sido encontrados para diferentes culturas, evidenciando que, sob condições normais de crescimento, as plantas maximizam a absorção da fração PAR. Independente da faixa de radiação considerada, o coeficiente de reflexão permaneceu praticamente constante para B entre 30° e 60° ; para $B < 30^\circ$ (15h30min), quando os raios solares apresentaram maior ângulo de incidência, o coeficiente de reflexão aumentou rapidamente. A variação de r em função de B pode ser explicada, segundo LEMEUR & ROSENBERG (1975), em termos do ângulo de inserção das folhas (K). Quando $B > K$, maior parte da radiação incidente é refletida para baixo; quando, no entanto, $B < K$, maior parte da reflexão é para cima, aumentando r . Evidentemente, numa cultura, onde as plantas procuram ocupar da melhor maneira possível o espaço disponível, existe uma gama de valores de K que pode explicar a constância de r para $B > 30^\circ$. O valor $B = 30^\circ$, como ponto de inflexão, foi escolhido subjetivamente.

O coeficiente de reflexão, por definição, é o coeficiente de regressão entre as radiações refletida e incidente, i.e., $R = r.I$. Coeficientes elevados são sempre associados a baixa densidade de fluxo, isto é, ocorrem quando o Sol se aproxima do horizonte. No caso presente, onde as medidas, em sua maioria, foram executadas nas horas de maior densidade de fluxo de radiação, o coeficiente de regressão representa o valor assintótico do coeficiente de reflexão da cultura. Por razões físicas, as regressões foram forçadas a passar pela origem, dando os seguintes coeficientes médios: $r_{PAR} = 0,04$, $r_{NIR} = 0,32$ e $r = 0,20$, que se ajustam bem aos dados, mostrando que, em geral, 96% de PAR e 68% de NIR foi disponível à cultura. Houve, portanto, um enriquecimento da fração PAR na radiação captada pela cultura. A razão entre as equações (5) e (6) mostra que, no período considerado, $NPAR = 1,20 NNIR$.

A figura 2 mostra a variação diária dos coeficientes de transmissão t , t_{PAR} e t_{NIR} , em função de B , sendo t_{NIR} sempre maior que t_{PAR} . Nota-se que os coeficientes de transmissão apresentaram variação inversa daquela apresentada pelo de reflexão. Ao redor do meio-dia, perto da passagem meridiana, os raios solares penetram mais facilmente no dossel, acarretando um coeficiente de transmissão mais elevado, independente da faixa espectral considerada. Afastando-se do meio-dia solar, isto é, diminuindo-se B , houve um decréscimo acentuado nos valores do coeficiente de transmissão, tendendo para um valor assintótico para $B < 50^\circ$. Esse comportamento do coeficiente de transmissão é função de vários fatores, entre eles o tamanho, a estrutura e a geometria das plantas que, no presente caso, formam um renque com as folhas dispostas na parte superior dos colmos. Resultados da análise de crescimento apresentados por MACHADO et alii (1982)

mostram que esta cultura tinha, na época das medidas radiométricas, nove colmos/metro quadrado e dez folhas/colmo. Portanto, para $B < 50^\circ$, houve predominância de radiação difusa dentro da cultura nas camadas mais próximas ao solo.

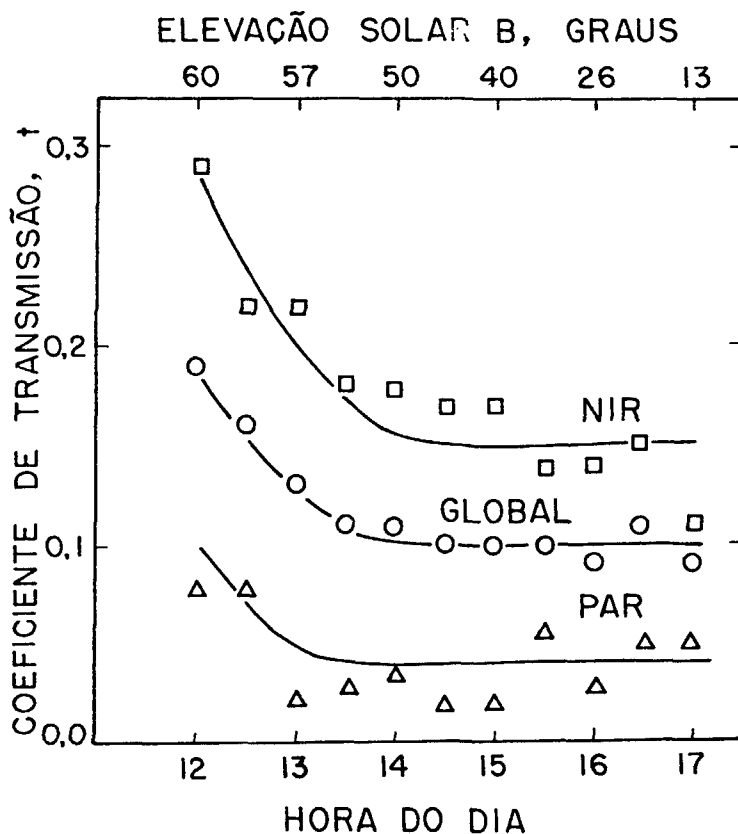


FIGURA 2 – Variação diária do coeficiente de transmissão da radiação solar incidente numa comunidade de cana-de-açúcar, cv. NA56-79.

Similarmente, utilizando-se a técnica de regressão entre radiação transmitida e incidente, obtiveram-se os seguintes coeficientes médios: $t_{PAR} = 0,04$, $t_{NIR} = 0,18$ e $t = 0,11$. Pela relação $TNIR/TPAR = (t_{NIR}/t_{PAR})(q/p)$, nota-se que houve aproximadamente cinco vezes mais NIR que PAR na radiação transmitida ao nível do solo, indicando que a cultura de cana-de-açúcar absorveu a maior parte da fração PAR disponível. Portanto, em média, menos que 20% da radiação transmitida ao nível do solo foi

na faixa PAR, evidenciando, mais uma vez, o caráter seletivo das folhas quanto ao aproveitamento da radiação solar.

Uma vez conhecidos r e t , determinou-se a , mediante as equações (9) e (10). O coeficiente de absorção foi menos dependente de B , sendo a_{PAR} sempre maior que a_{NIR} (Figura 3). Em média, obteve-se $a_{PAR} = 0,92$, $a_{NIR} = 0,50$ e $a = 0,67$, indicando que durante o período de observação a cultura de cana-de-açúcar absorveu aproximadamente duas vezes mais PAR que NIR. O valor $a_{PAR} = 0,92$ é levemente maior que aqueles relatados anteriormente, i.e., 0,86 para a cultura do milho (YOCUM et alii, 1964); 0,85 para folhas verdes em geral (ROSS, 1975); 0,81 para folhas de sorgo (MORESHET et alii, 1977); e 0,84 para a cultura de mandioca (PEREIRA et alii, 1982).

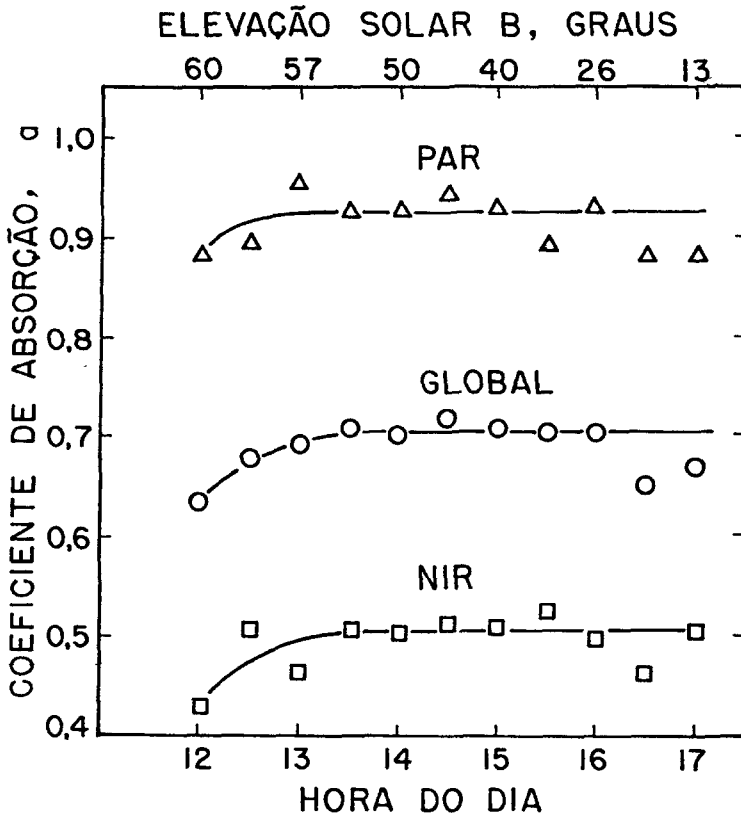


FIGURA 3 – Variação diária do coeficiente de absorção da radiação solar incidente numa comunidade de cana-de-açúcar, cv. NA56-79

SUMMARY

RADIOMETRIC RELATIONS OF A SUGARCANE CROP

During the period of maximum leaf area index of a sugarcane crop, cv. NA56-79, the coefficients of reflection, transmission and absorption of the incoming solar radiation were function of solar elevation and the waveband considered. The photosynthetically active radiation (PAR) was always less reflected and transmitted but more absorbed than the near infrared radiation (NIR). In general, for the wavebands considered, the following radiometric relations were obtained: (1) net solar radiation, $NP\text{AR} = 1.2 \text{ NNIR}$; (2) reflected radiation, $RP\text{AR} = 0.1 \text{ RNIR}$; (3) transmitted radiation, $TP\text{AR} = 0.2 \text{ TNIR}$; (4) absorbed radiation, $AP\text{AR} = 1.6 \text{ ANIR}$.

Index terms: photosynthetically active radiation; near infrared radiation; reflection coefficient; transmission coefficient; absorption coefficient.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, L.H.; YOCUM, C.S. & LEMON, E.R. Photosynthesis under field conditions. VII. Radiant energy exchanges within a corn canopy and implications in water use efficiency. *Agronomy Journal*, **36**:253-259, 1964.
- ANDERSON, M.C. A comparison of two theories of scattering of radiation in crops. *Agricultural Meteorology*, **6**:399-405, 1969.
- LEMEUR, R. & ROSENBERG, N.J. Reflectant induced modification of soybean canopy radiation balance. II. A quantitative and qualitative analysis of radiation reflected from a green soybean canopy. *Agronomy Journal*, **67**:301-306, 1975.
- MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V. & CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, **17**: 1323-1329, 1982.
- McCREE, K.J. Infrared-sensitive colour film for spectral measurements under plant canopies. *Agricultural Meteorology*, **5**:203-208, 1968.
- MORESHET, S.; STANHILL, G. & FUCHS, M. Effect of increasing foliage reflectance on the CO_2 uptake and transpiration resistance of a grain sorghum crop. *Agronomy Journal*, **69**:246-250, 1977.
- PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. & CAMARGO, M.B.P. Solar radiation regime in three cassava (*Manihot esculenta* Crantz) canopies. *Agricultural Meteorology*, **26**: 1-10, 1982.
- ROSS, J. Radiative transfer in plant communities. In: MONTEITH, J.L., ed. *Vegetation and the atmosphere*. London, New York, Academic Press, 1975. v.1, Principles, p. 13-55.

- SAEKI, T. Interrelationships between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant community. *Botanical Magazine*, 73:55-63, 1960.
- . Light relations in plant communities. In: EVANS, L.T., ed. *Environmental control of plant growth*. Canberra, Australia, Academic Press, 1963. p. 79-94.
- SANTOS, J.M.; DECICO, A.; OLIVEIRA, A.S. & REICHARDT, K. Balanço de radiação em campos cultivados com milho Piranão. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., Piracicaba, SP, 1976. Anais. p.507-515.
- SZEICZ, G. Solar radiation in crop canopies. *Journal Applied Ecology*, 11:1117-1155, 1974.
- ; MONTEITH, J.L. & SANTOS, J.M. Tube solarimeter to measure radiation among plants. *Journal Applied Ecology*, 1: 169-174. 1964.
- YOCUM, C.S.; ALLEN, L.H. & LEMON, E.R. Photosynthesis under field conditions. VI. Solar radiation balance and photosynthesis efficiency. *Agronomy Journal*, 56:249-253, 1964.