

BALANÇO DE RADIAÇÃO NA CULTURA DO SORGO SACARINO¹

FRANCISCO NETO DE ASSIS, MARTA ELENA G. MENDEZ²,
SÉRGIO ROBERTO MARTINS³ e LUIZ AUGUSTO VERONA⁴

RESUMO - Em uma área cultivada com sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.), convenientemente irrigada, mediram-se, durante o ciclo de desenvolvimento de duas variedades, BR-501 e BR-503, os fluxos de radiação solar global incidente ($K\downarrow$), refletida ($K\uparrow$) e do balanço de radiação total, radiação líquida (R_n). Os dados resultantes permitiram estimar o albedo das culturas ($r = K\uparrow/K\downarrow$) bem como equações de estimativa de R_n com base nos valores de $K\downarrow$ ou $K\downarrow(1-r)$. O albedo médio diário das duas variedades pôde ser considerado como 0,23. As equações de estimativa de R_n , resultantes da análise dos dados, foram as seguintes: $R_n = 0,55K\downarrow - 3,25$ e $R_n = 0,51K\downarrow + 2,55$ para a variedade BR 501 nos períodos fenológicos anterior e posterior à fase de emissão da panícula; para a variedade BR-503, nos mesmos períodos, obtiveram-se: $R_n = 0,40K\downarrow + 66,50$ e $R_n = 0,44K\downarrow + 38,10$. A análise dos dados demonstrou, também, que a inclusão do albedo não melhorou a relação entre R_n e $K\downarrow$ e que as estimativas de R_n com as equações acima apresentaram grau de confiabilidade aceitável para o cálculo da evapotranspiração da cultura do sorgo sacarino.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, irrigação, fluxo de radiação solar global incidente e refletida, radiação líquida.

RADIATION BALANCE IN THE SWEET SORGHUM CROP

ABSTRACT - The fluxes of incident solar radiation ($K\downarrow$), reflected ($K\uparrow$) and net radiation (R_n) were measured during the growing cycle of two fields of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.), cvs. BR-501 and BR-503, maintained under convenient irrigation level. Resultant data allowed to estimate the crop albedo ($r = K\uparrow/K\downarrow$) as well as the estimates of R_n as a function of $K\downarrow$ or $K\downarrow(1-r)$. Both cultivars showed a mean albedo/day of 0.23. The estimates of R_n for cultivar BR-501 were $R_n = 0.55 K\downarrow - 3.25$ and $R_n = 0.51 K\downarrow + 2.55$ respectively in the periods before and after heading. For the same periods the cultivar BR-503 showed the following equations: $R_n = 0.40 K\downarrow + 66.50$ and $R_n = 0.44 K\downarrow + 38.10$. Analysis of data also demonstrated that the inclusion of the albedo did not improve the relationship between R_n and $K\downarrow$, and that the equations above presented reasonable degree of confidence in the calculation of evapotranspiration in sweet sorghum.

Index terms: *Sorghum bicolor*, irrigation, fluxes of incident solar radiation.

INTRODUÇÃO

A medida da energia disponível à superfície de uma cultura para os processos físicos (evapotranspiração e aquecimento do ar da planta e do solo) e para fotossíntese é praticamente representada pela radiação líquida. Em termos algébricos a radiação líquida é resultante da soma de todos os fluxos radiativos incidentes e emergentes da superfície em questão ou seja:

$$R_n = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow$$
$$R_n = K\downarrow(1-r) + L\downarrow - L\uparrow \quad (1)$$

onde,
 R_n = radiação líquida de todos os comprimentos de onda;

$K\downarrow$ = radiação solar global (direta + difusa) incidente;

$K\uparrow$ = radiação solar global refletida;

$L\downarrow$ = radiação de onda longa emitida pela atmosfera, e

$L\uparrow$ = radiação de onda longa composta da radiação de mesmo comprimento de onda emitida e refletida pela superfície.

Tem sido demonstrado experimentalmente (Mota 1976, Ometto 1968, Chang 1971, Fritschen 1967, Rijks 1968, André & Viswanadham 1981, Kanemasu et al. 1976) que R_n é bem correlacionada com a radiação solar global (Tabela 1) nas formas,

¹ Aceito para publicação em 4 de abril de 1986. Trabalho realizado no Convênio EMBRAPA/UFPEL, parcialmente financiado pela FINEP.

² Eng. - Agr., M.Sc., Docente do Dep. de Fitotecnia da Fac. de Agron. Eliseu Maciel da UFPEL e pesquisador do Convênio EMBRAPA/UFPEL. Caixa Postal 354, CEP 96100 Pelotas, RS.

³ Eng. Agr., Ph.D., UFPEL/FAEM e pesquisador do Convênio EMBRAPA/UFPEL.

⁴ Eng. - Agr., Aluno de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UFPEL.

$$R_n = a + bK_d \quad (2)$$

$$R_n = a + bK_d(1-r) \quad (3)$$

onde a e b são constantes obtidas por regressão.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos relatados neste trabalho foram conduzidos em uma área de 0,6 ha localizada ao lado da Estação Agroclimatológica da Universidade Federal de Pelotas, RS. Esta Estação tem as seguintes coordenadas: Latitude 31°52'S, Longitude 52°21'W e Altitude de 13 m.

No primeiro experimento foi utilizada a variedade de sorgo sacarino BR-501 semeada em 26 de novembro de 1982, ocupando toda a área. A variedade BR-503, utilizada no segundo experimento, foi semeada em 26 de dezembro de 1983 ocupando apenas um quarto da área experimental. O restante da área foi semeada com a BR-501.

Nos dois experimentos, a densidade de plantas, após o desbaste, foi de aproximadamente 143.000 plantas/ha (espaçamento de 0,70 m entre linhas com 10 plantas por metro linear).

Para medida dos fluxos de radiação solar global incidente e refletida, foi utilizado, em ambos experimentos, um albedômetro Philipp Schenk Modelo 8102 acoplado a um registrador de canal duplo do mesmo fabricante. A radiação líquida foi medida com um radiômetro líquido tipo Fritschen acoplado a um registrador monocanal Speedomax H da Leeds & Northrup. Os sensores foram localizados a 1 m acima do nível superior das plantas, altura esta mudada semanalmente.

Durante todo o período experimental foram efetuadas aplicações de água por aspersão, para manter o solo com nível de umidade próximo à capacidade de campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas de radiação iniciaram-se em 3 de janeiro de 1983 na variedade BR-501 e em 19 de janeiro de 1984 na BR-503. Os índices de área foliar (IAF) estimados para aquelas datas foram, respectivamente 1,2 e 1,5. Para efeito de análise os dados foram divididos em dois conjuntos, tendo como limite de separação, a fase fenológica de emissão da panícula.

Albedo

O albedo médio das duas variedades nos dois períodos fenológicos considerados estão indicados na Tabela 2.

As diferenças observadas entre os valores — quer entre variedades quer entre período fenológicos — embora possam ser explicadas em função das diferenças de arquitetura da cultura, têm pouco significado prático. Com efeito, considerando-se a média da radiação solar incidente (425 cal.cm⁻².dia⁻¹) durante a estação de crescimento do sorgo sacarino na região do experimento (outubro-maio) a diferença entre os balanços de onda curta resultantes da utilização dos valores extremos do albedo (0,22 e 0,24) é inferior a 5%, ou seja, dentro do limite aceitável no caso estudado. Portanto, um valor médio do albedo de 0,23 pode ser considerado como representativo das duas variedades.

TABELA 1. Relações da forma $R_n = a + bK_d$ em algumas superfícies.

Local	Superfície	Período de medida	Albedo	a	b	R	Referência
Pelotas, RS	Gramado	24 horas	—	123,80	0,66	0,86	Mota (1976)
Piracicaba, SP	Gramado	24 h prim./verão	—	-12,00	0,56	—	Ometto (1968)
Piracicaba, SP	Gramado	24 h out./inv.	—	-23,00	0,45	—	Ometto (1968)
Havai, EUA	Cana	24 h jun.	—	0,02	0,72	0,90	Chang (1971)
Arizona, EUA	Trigo	Hor. jan./set.	0,21	0,17	0,81	0,99	Fritschen (1967)
Arizona, EUA	Cevada	Hor. jan./set.	0,23	0,12	0,66	0,99	Fritschen (1967)
Arizona, EUA	Sorgo gran.	Hor. jan./set.	0,21				
Sudão	Algodão	Diurno fev./dez.	0,23	0,07	0,77	0,77	Rijks (1968)
Jaboticabal, SP	Solo nú	Diurno	0,15	-35,49	0,99	0,94	André & Viswanadham (1981)
Jaboticabal, SP	Soja	Diurno	0,23	-7,45	1,12	0,94	André & Viswanadham (1981)
Kansas, EUA	Sorgo gran.	24 h IAF > 3	—	-0,86	0,73	—	Kanemasu et al. (1976)
Kansas, EUA	Sorgo gran.	24 h IAF < 3	—	-2,24	0,84	—	Kanemasu et al. (1976)

TABELA 2. Albedo médio de duas variedades de sorgo sacarino em dois períodos fenológicos.

Período Fenológico	Variedade			
	BR-501		BR-503	
	\bar{r}	Variação	\bar{r}	Variação
Até E - P	0,24	0,18 - 0,30	0,22	0,18 - 0,29
Após E - P	0,22	0,18 - 0,26	0,23	0,20 - 0,26

E - P = Emissão da panícula.

TABELA 3. Valores médios diários de radiação solar global incidente ($K\downarrow$), refletida ($K\uparrow$) e da radiação líquida (R_n) observadas durante o ciclo de crescimento de duas variedades de sorgo sacarino.

Período fenológico	Variedades					
	BR-501			BR-503		
	$K\downarrow$	$K\uparrow$	R_n	$K\downarrow$	$K\uparrow$	R_n
	-----cal.cm ⁻² .dia ⁻¹ -----					
Até E - P	503	120	278	551	120	289
Após E - P	430	95	225	460	104	246

E - P = Emissão da panícula.

TABELA 4. Equações de estimativa da radiação solar global ($K\downarrow$) e do balanço de radiação de onda curta ($K\downarrow(1-r)$) em duas variedades de sorgo sacarino.

Período fenológico	Variedade	Equação			
		Número		S(b)	R ²
Até E - P	BR-501	1	$R_n = 0,55 K\downarrow - 3,25$	0,03	0,88
		2	$R_n = 0,71 K\downarrow(1-r) + 6,16$	0,04	0,89
		3	$R_n = 0,51 K\downarrow + 2,55$	0,04	0,83
Após E - P	BR-503	4	$R_n = 0,66 K\downarrow(1-r) + 1,11$	0,05	0,83
Até E - P		5	$R_n = 0,40 K\downarrow + 66,50$	0,04	0,78
		6	$R_n = 0,50 K\downarrow(1-r) + 70,90$	0,06	0,74
Após E - P		7	$R_n = 0,44 K\downarrow + 38,10$	0,05	0,72
		8	$R_n = 0,56 K\downarrow(1-r) + 41,71$	0,06	0,74

E - P = Emissão da panícula.

Por outro lado, segundo ainda os dados da Tabela 2, o campo de variação dos valores do albedo é bastante amplo o que poderia ser um fator contrário à indicação do valor médio de 0,23. Entretanto, os valores extremos observados (0,18 e 0,30) ocorreram com frequência muito baixa. Em resumo; apenas 6% dos dados apresentaram valores de albedo inferior a 0,20 e 8% superiores a 0,26, correspondendo estes dados aos estágios iniciais e finais do desenvolvimento da cultura.

Balanço de radiação

Os valores médios de radiação solar global incidente ($K\downarrow$), refletida ($K\uparrow$) e da radiação líquida (R_n) são mostrados na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta as equações de estimativas de R_n com base nos valores de $K\downarrow$ e $K\downarrow(1-r)$.

Note-se que uma grande proporção da variação total da radiação líquida é devida a relação linear simples entre R_n e $K\downarrow$ ou $K\downarrow(1-r)$, principalmente no caso da variedade BR-501. Embora a inclusão do albedo surpreendentemente não tenha melhorado a relação entre R_n e $K\downarrow$ — quer em termos de r^2 quer em termos de erro padrão de estimativa da inclinação das retas — a comparação das equações, 1 com 2; 3 com 4, etc, demonstra claramente que a utilização do valor médio do albedo de 0,23, discutida no item anterior, é consistente. Vale relatar que as equações 2, 4, 6 e 8 foram determina-

das com os valores de albedo diários, porém a simples substituição de r pelo seu valor médio ($r = 0,23$) reduz as inclinações das equações 2, 4, 6 e 8 para, praticamente, os mesmos valores, do mesmo parâmetro, das equações 1, 3, 5 e 7. Assim sendo, as equações 1 e 2 bem como as 5 e 6 darão o mesmo resultado para um determinado valor de radiação solar global. Entretanto, comparando-se estes resultados obtidos com as equações de períodos fenológicos distintos as diferenças são acentuadas, principalmente no caso de variedade BR-503. Em qualquer caso pode-se concluir que a relação entre R_n e K_t muda com o estágio de desenvolvimento da cultura.

TABELA 5. Comparação entre a evapotranspiração máxima (ETm) medida na variedade BR-501 com a estimativa com base nas equações 1 e 3.

Período fenológico	K_t	R_n	ETm ¹		
			Medida ¹	Estimativa	Dif.
	cal.cm ⁻² .dia ⁻¹		mm.dia ⁻¹		%
Até E - P	503	273	4,31	4,62	-7,2
Após E - P	430	222	4,40	3,76	14,5
Ciclo	467	253	4,36	4,30	1,4

¹ ETm medida em evapotranspirômetro de nível de água constante.

A utilização mais objetiva dos dados de radiação líquida seria o cálculo da evapotranspiração. Assim, assumindo-se que toda a radiação líquida tenha sido utilizada na evapotranspiração máxima (ETm) da variedade BR-503 — assunção justificada tendo em vista que a cultura foi convenientemente irrigada — a ETm estimada para os dois períodos fenológicos e para o ciclo total está indicada na Tabela 5. Ali também é feita uma comparação da estimativa de ETm com sua medida, no mesmo experimento, em um conjunto de evapotranspirômetros de nível de água constante. O ajuste entre os dados medidos e estimados, dentro das restrições estabelecidas, revela um grau de confiabilidade aceitável da estimativa de R_n para o cálculo da evapotranspiração da cultura.

CONCLUSÕES

Os dados apresentados e discutidos neste trabalho suportam as seguintes conclusões: 1) em culturas de sorgo sacarino — variedades BR-501 e BR-503 — com índice de área foliar superior a 1,2 e 1,5 respectivamente, o albedo médio diário pode ser considerado como 0,23; 2) na estimativa da radiação líquida com base na medida da radiação solar global e inclusão do albedo não melhorou a correlação entre as duas variáveis; 3) na mesma estimativa as equações encontradas foram distintas para as duas variedades e para os períodos fenológicos considerados; 4) para a variedade BR-501 a radiação líquida pode ser estimada por $R_n = 0,55 K_t - 3,25$ até a fase de emissão da panícula e por $R_n = 0,51 K_t + 2,55$ após esta fase; nos mesmos períodos fenológicos as relações encontradas para a variedade BR-503 foram, respectivamente, $R_n = 0,40 K_t + 66,50$ e $R_n = 0,44 K_t + 38,10$; 5) assumindo-se que toda a radiação líquida fosse utilizada no processo de evapotranspiração, a comparação entre valores medidos deste parâmetro com as estimativas resultantes daquelas equações mostraram grau de confiabilidade aceitável.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, G.B. & VISWANADHAM, V. Balanço de radiação em superfícies vegetadas. Jaboticabal, UNESP, 1981. n.p. Trabalho apresentado no II Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Pelotas, RS, 1981.
- CHANG, J.H. Problems and methods in agricultural climatology. s.l., Oriental, 1971. 96p.
- FRITSCHEN, J.L. Net and solar radiation relations over irrigated fields crops. *Agric. Meteorol.*, 4:55-62, 1967.
- KANEMASU, E.T.; STONE, L.R.; POWERS, W.L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. *Agron. J.*, 68:569-72, 1976.
- MOTA, F.S. da. Estimativa da radiação líquida em Pelotas, Rio Grande do Sul. *Ci. e Cult.*, 28(10):1173-8, 1976.
- OMETTO, J.C. Estudo das relações entre radiação solar global, radiação líquida e insolação. Piracicaba, ESALQ, 1968. Tese Doutorado.
- RIJKS, D.A. Water use by irrigated cotton in Sudan. II. Net radiation and soil heat flux. *J. Appl. Ecol.*, 5:685-706, 1968.