

BALANÇO DE RADIAÇÃO EM CULTURA DE MILHO

Gilberto R. Cunha⁽¹⁾; Homero Bergamaschi⁽²⁾; Moacir A. Berlato^{(1), (2)} e Ronaldo Matzenauer⁽¹⁾

(1) Seção de Ecologia Agrícola-IPAGRO, Secretaria da Agricultura e Abastecimento/RS; Rua Gonçalves Dias, 570, 90.060 - Porto Alegre/RS.

(2) Faculdade de Agronomia/UFRGS.

INTRODUÇÃO

O saldo de radiação de uma superfície é constituído pelo balanço das trocas verticais de radiação eletromagnética entre a superfície em questão e a atmosfera.

No espectro de ondas curtas, visível e infravermelho próximo, chega à superfície da terra a radiação solar global (R_s) que, ao interagir com a mesma, tem uma parcela refletida em função do albedo (α). Por sua vez, dentro da faixa de ondas longas, no infravermelho térmico, tem-se, no sentido da superfície, um fluxo de radiação (I_{\downarrow}) de origem atmosférica, concomitantemente com um fluxo (I_{\uparrow}) de sentido contrário e originado na superfície ([1] e [2]).

Em nível atmosférico, o principal fator é a radiação solar global que é variável em função da latitude, altitude, ângulo solar, cobertura de nuvens e turbidez atmosférica ([3]).

Dentre as características da superfície, salienta-se o albedo, que varia com a elevação solar, a composição espectral da radiação incidente, as propriedades óticas das folhas, a cobertura do solo, as condições hídricas da cultura e do solo e a quantidade e tipo de cobertura de nuvens ([4] e [5]).

O Balanço de ondas longas segue a lei de Stefan-Boltzmann, sendo função da diferença de temperatura entre a superfície e a atmosfera. Dois parâmetros de utilidade descritiva, que podem ser obtidos a partir dos termos do balanço de radiação, são o coeficiente térmico (β), considerado uma propriedade da superfície, e o coeficiente de transformação em ondas longas (λ), considerado

uma propriedade do meio ([6]).

Nesse contexto, procurou-se quantificar os componentes do balanço de radiação em diferentes condições atmosféricas e estádios de desenvolvimento da cultura do milho; relacionar o saldo de radiação com o balanço de ondas curtas e com a radiação solar global, integrados no período diurno, e determinar o coeficiente térmico e o coeficiente de transformação em ondas longas.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio constou de uma unidade experimental de 6561 m² (81m x 81m), instalado na Estação Experimental Fitotécnica de Taquari-RS (29°48'S; 51°49'W; 76 m e clima Cfa segundo Köppen), durante o ano agrícola 1986/87. O milho SAVE-342 foi semeado em 21/11/86, numa população de 50.000 plantas.ha⁻¹, com espaçamento entre linhas de 0,9 m.

Em um mastro no interior da parcela foram instalados, a 4 m acima do solo, um saldo radiômetro Phillip-Schenk para medição do saldo de radiação (Rn) e dois piranômetros "tipo Eppley", modelo D3B, de fabricação nacional, para medições da radiação solar global (Rs) e da radiação solar refletida (Rr). Esses sensores foram acoplados a uma chave comutadora e um milivoltímetro Engro, modelo 2100, com resolução de 0,01 mV.

As determinações foram realizadas em intervalos de 30 min, durante o período diurno (7 h às 18h30min), sendo calculados:

- Albedo:

$$\alpha = Rr/Rs$$

- Balanço de ondas curtas (BOC):

$$BOC = (1 - \alpha) Rs$$

- Balanço de ondas longas (I):

$$I = Rn - (1 - \alpha) Rs$$

- Coeficiente térmico (β) e coeficiente de transformação em ondas longas (λ):

$$\beta = (1 - a)/a$$

$$\lambda = a - 1$$

sendo, a o coeficiente de regressão linear entre Rn e BOC, em ní-

vel instantâneo ($W.m^{-2}$).

Foram ajustados modelos lineares, pelo método dos mínimos quadrados, relacionando R_n com R_s e com o BOC integrados ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$).

Os estádios de desenvolvimento foram caracterizados pela escala de Hanway (1966). O índice de área foliar (IAF) foi obtido em plantas marcadas (6 segmentos de $0,66 m = 0,59 m^2$) pelo método de Montgomery (1911).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Radiação solar global (R_s)

Esteve compreendida entre $9,8 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ e $27,3 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$, dependendo do grau de cobertura do céu (Tabela 1 e Figura 1).

Valores instantâneos superiores a $1000 W.m^{-2}$ foram registrados próximos ao meio-dia local e sob condição de céu parcialmente nublado. Em condições similares, valores desta magnitude foram obtidos por outros autores ([6] e [7]), explicáveis em função de reflexões atmosféricas direcionadas para a superfície.

2. Radiação solar refletida (R_r)

Foi o principal componente negativo do balanço de radiação, variando entre $-2,1 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ e $-5,7 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ (Tabela 1).

A perda de radiação da superfície através da reflexão de ondas curtas sempre foi superior à perda líquida de radiação de ondas longas (Tabela 1 e Figura 1). Esse fato concorda com resultados obtidos em outros trabalhos ([6], [7] e [8]).

O albedo médio diário variou de 0,19 a 0,24, denotando associação com o IAF e com o ângulo zenital da radiação solar (Tabela 1 e Figura 1).

3. Balanço de radiação de ondas curtas (BOC)

Variou entre $7,7 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ e $22,2 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$, sendo função principalmente de R_s . Pelo efeito da nebulosidade sobre R_s , infere-se que a radiação solar direta é o fator preponderante no BOC (Tabela 1 e Figura 1).

4. Balanco de radiação de ondas longas (I)

Variou entre $-1,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $-4,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, estando relacionado com R_s (Tabela 1)

Em média, a perda de ondas longas pela superfície foi da ordem de 15% e 18% em relação ao BOC e ao R_n , respectivamente (Tabela 2).

Pela Figura 1 verifica-se, a dependência de I em relação à radiação solar global, sendo a emissão pela superfície (I_f) maior entre o meio da manhã e o meio da tarde, conforme já havia sido observado por outros autores, inferindo-se a influência da temperatura da superfície ([7], [8] e [9]).

5. Coeficiente térmico (β) e coeficiente de transformação em ondas longas (λ)

Os valores médios obtidos foram de 0,169 para β e -0,141 para λ (Tabela 2).

Destaca-se o fato de terem apresentado evidências de efeito interativo entre características atmosféricas e da superfície, conforme já havia sido apontado em outros trabalhos ([6] e [10]).

6. Estimativa do saldo de radiação (R_n)

Foram ajustados os seguintes modelos para R_n integrado no período diurno ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$):

$$- R_n = 0,528 + 0,824 (1-\alpha) R_s \quad r^2 = 0,943$$

$$- R_n = 0,114 + 0,669 R_s \quad r^2 = 0,979$$

CONCLUSÕES

1. A perda de energia por reflexão de ondas curtas foi superior à perda líquida de radiação de ondas longas.
2. O albedo médio diário esteve relacionado de forma direta com o índice de área foliar da cultura, variando de 0,19 a 0,24.
3. O albedo instantâneo foi influenciado, de forma direta, pelo ângulo zenital da radiação solar.
4. As variações do saldo de radiação estiveram diretamente associadas às variações da radiação solar global.

5. Todos os componentes do balanço de radiação foram inversamente relacionados com o grau de nebulosidade.
6. Os coeficientes térmicos (β) e de transformação em ondas longas (λ) indicaram efeito de interação entre as características da superfície e da atmosfera. Em média, foram iguais a 0,169 e -0,141, respectivamente
7. O saldo de radiação, integrado no período diurno, pode ser estimado através de uma função linear com a radiação solar global ($r^2=0,98$) ou com o balanço de radiação de ondas curtas ($r^2=0,94$).

BIBLIOGRAFIA CITADA

- [1] - TANNER, C.B. & LEMON, E.R. Radiant Energy Utilized in Evapotranspiration. Agronomy Journal, 54:207-12, 1962.
- [2] - RIOU, C. Le Bilan Energetique. In: LES BASES DE LA BIOCLIMATOLOGIE - BASES PHYSIQUES, 1., MÉRIBEL, 1984. Anais... Paris, Institut Nacional de la Recherche Agronomique. p.73-83, 1984.
- [3] - CHANG, JEN-HU. Climate and Agriculture: an Ecological Survey. Chicago, Aldine, 1968. 304p.
- [4] - BLAD, B.L. & BAKER, D.G. Reflected Radiation from a Soybean Crop. Agronomy Journal, 64:277-80, 1972.
- [5] - PABLOS, A.B. & IRAUNDEGUI, Y.J.G. Medida del Albedo em Varios Cultivos e Fases de su Desarrollo. Salamandra, Centro de Edafologia y Biologia Aplicada. 10f, 1975.
- [6] - ANDRÉ, R.G.B. & VISWANADHAM, Y. Radiation Balance of Soybeans Grown in Brazil. Agric. Meteorol. 30:157-73, 1983.
- [7] - FONTANA, D.C. Balanço de Radiação e Balanço de Energia em Soja (Glycine max (L.) Merrill) Irrigada e não irrigada. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1987. 121p. Dissertação Mestr. Fitotecnia.

- [8] - ANDRÉ, R.G.B.; VOLPE, C.A.; NISHIMURA, T.; DELLA LIBERA, C.L.F.; MALHEIROS, E.; ALMEIDA, A. Balanço de Radiação numa Cultura de Milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., Londrina, PR, 1985. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, IAPAR. p.93-102, 1986.
- [9] - MONTEITH, J.L. & SZEICE, G. The Radiation Balance of Bare Soil and Vegetation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 87:159-70, 1961.
- [10] - STANHILL, G.; HOFSTEDE, G.J.; KALMA, J.D. Radiation Balance of Natural and Agricultural Vegetation. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 92:128-40, 1965.
- [11] - GOMES, J. & KARAZAWA, M. Como a Planta de Milho se Desenvolve. In: IAPAR. O Milho no Paraná. Londrina, p.33-49. (Circular IAPAR, 29), 1982.

TABELA 1. Componentes do balanço de radiação, estágio fenológico, número de dias após a emergência e índice de área foliar em uma cultura de milho, cv. SAVE-342. Taquari - RS, 1986/87.

Data	Estádio (*)	DAE	IAF	$\bar{\alpha}$	MJ . m ⁻² . dia ⁻¹				
					R _n	R _s	R _r	(1- α)R _s	I
19/12/86	1,5	22	0,42	0,193	14,6021	23,1113	-4,4568	18,6536	-4,0514
30/12/86	2,0	33	1,21	0,188	17,9217	27,2774	-5,0637	22,2141	-4,2924
21/01/87	3,0	55	3,00	0,226	17,3374	25,4377	-5,6077	19,8292	-2,4918
28/01/87	4,0	62	3,15	0,235	17,2693	25,6811	-5,7462	19,9381	-2,6688
05/02/87	5,0	70	2,80	0,229	6,4007	9,7811	-2,1066	7,6739	-1,2732
12/02/87	6,0	77	2,65	0,224	18,1265	26,9064	-5,5296	21,3775	-3,2511
19/02/87	7,0	84	2,53	0,208	12,1585	17,2019	-3,4418	13,7584	-1,5999
26/02/87	9,0	91	2,23	0,222	17,3566	24,2887	-4,8511	18,1292	-2,0802
13/03/87	10,0	106	0,56	0,238	16,3086	24,2321	-4,8115	19,4182	-3,1096

(*) Escala de Hanway (1966), descrita por GOMES e KARAZAWA (1982); DAE - número de dias após a emergência; IAF - índice de área foliar; $\bar{\alpha}$ - albedo médio; R_n - saldo de radiação; R_s - radiação solar global; R_r - radiação de ondas curtas refletida; (1- α)R_s - balanço de radiação de ondas curtas e I - balanço de radiação de ondas longas.

TABELA 2 Coeficiente térmico (β), coeficiente de transformação em ondas longas (λ), relações do balanço de radiação de ondas longas com o saldo de radiação (I/R_n) e com o balanço de ondas curtas [I/(1- α)R_s], estágio fenológico, número de dias após a emergência e índice de área foliar em uma cultura de milho, cv. SAVE-342. Taquari - RS, 1986/87.

Data	Estádio (*)	DAE	IAF	β	λ	I/R _n	I/(1- α)R _s
19/12/86	1,5	22	0,42	0,318	-0,241	-0,28	-0,22
30/12/86	2,0	33	1,21	0,206	-0,171	-0,24	-0,19
21/01/87	3,0	55	3,00	0,153	-0,133	-0,14	-0,13
28/02/87	4,0	62	3,15	0,183	-0,155	-0,15	-0,13
05/02/87	5,0	70	2,80	0,091	-0,083	-0,20	-0,17
12/02/87	6,0	77	2,65	0,253	-0,202	-0,18	-0,15
19/02/87	7,0	84	2,53	0,063	-0,059	-0,13	-0,12
26/02/87	9,0	91	2,23	0,120	-0,107	-0,12	-0,11
13/03/87	10,0	106	0,56	0,136	-0,120	-0,19	-0,10
Média				0,169	-0,141	-0,18	-0,15

(*) Escala de Hanway (1966), descrita por GOMES e KARAZAWA (1982); DAE - número de dias após a emergência e IAF - índice de área foliar.

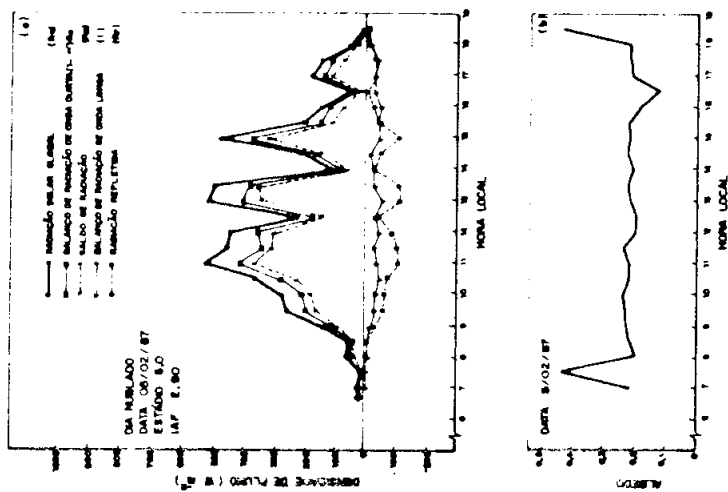
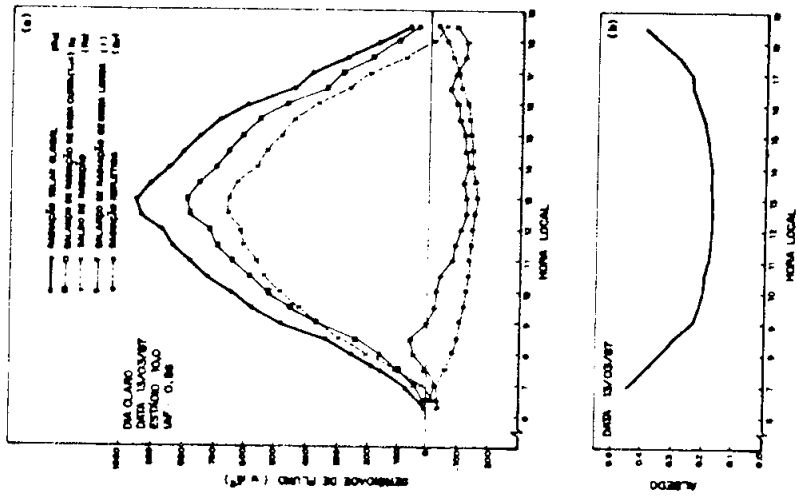


FIGURA 1. Componentes do balanço de radiação ($W \cdot m^{-2}$) em cultura de milho, cv. SAVI-342 (a) e albedo (b). Taquari-RS, 1986/87.