



BALANÇO DE RADIAÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

José Francisco Alves do Carmo¹; Magna Soelma Beserra de Moura²; Thieres George Freire da Silva³; José Monteiro Soares⁴; Mario de Miranda Villas Boas Ramos Leitão⁵

¹Biólogo, Mestrando em Agrometeorologia, UNIVASF, Juazeiro-BA. E-mail: j.francarmo@gmail.com; ² Eng. Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa Semiárido, Petrolina-PE; ³ Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, UFRPE/UAST, Serra Talhada – PE; ⁴ Pesquisador Aposentado, Embrapa Semiárido, Petrolina-PE; ⁵ Meteorologista, Prof. Doutor, UNIVASF, Juazeiro-BA.

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benito de Silva Nunes, Universidade Federal do Pará, Belém – Pará.

RESUMO: Neste estudo dados de radiação solar global incidente, radiação refletida, saldo de radiação e demais componentes do balanço de radiação obtidos em um experimento com cana-de-açúcar (variedade RB 92579) em Juazeiro-BA, foram analisados para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura, bem como ao longo do ciclo de cultivo, no período de novembro de 2010 a outubro de 2011. As medidas dos fluxos foram obtidas através de um saldo radiômetro, modelo CNR1, instalado em uma torre de monitoramento micrometeorológico localizada no centro da área de cultivo. Com os resultados constatou-se que condições de nebulosidade influenciaram consideravelmente nos componentes do balanço de radiação, fazendo que R_n fosse praticamente igual ao BOC. Ao longo do ciclo, os componentes do balanço de radiação foram afetados pela sazonalidade da radiação global incidente, bem como pela cobertura do solo. O albedo médio constatado para o ciclo foi de 0,23 e a razão entre o saldo de radiação e a radiação global apresentou maior valor na fase II de crescimento da cultura, indicando que esta demandou mais energia.

PALAVRAS-CHAVE: Saldo de radiação, evapotranspiração, radiação solar, semiárido, *Saccharum spp.*

RADIATION BUDGET IN SUGARCANE CROP BY SUBSURFACE DRIP IRRIGATION

ABSTRACT: In this study, budget radiation components data was collected using a CNR1 net radiometer sensor and then analyzed from different phenological stages and during the cycle (November, 2010 to October, 2011) of the sugarcane, variety RB 92579 in the Agrovale farms, Juazeiro municipality, Bahia State. The results demonstrate that cloudy conditions considerably affected the budget components that does net radiometer reach to shortwave budget values. The solar global radiation seasonality and vegetal covering development influence over radiation budget components was established along the cycle. The presented 0,23 average albedo in this study agree with those later mentioned similar study for the same





plant variety and climate conditions. The higher ratio of net radiometer to solar global radiation in the F2 stage indicates that this needed more energy than those others.

KEYWORDS: Net radiation, evapotranspiration, solar radiation, semiarid, Sugarcane.

INTRODUÇÃO

A energia disponível para os processos biológicos e físicos que ocorrem num sistema vegetado depende do saldo de radiação (R_n), que consiste no balanço entre a energia radiante oriunda da atmosfera e a energia que é irradiada pelo sistema em questão (PEREIRA et al, 2002). Assim, ao nível do dossel da cana-de-açúcar, R_n corresponde à energia disponível para realização dos mecanismos físicos responsáveis pelos processos de troca de massa e energia entre o sistema e a atmosfera, e para a realização de processos fisiológicos necessários à manutenção do metabolismo da cultura. O conhecimento do curso diário e sazonal de R_n e seus componentes são de interesse particular na Agrometeorologia pela sua aplicação em estudos evaporimétricos para quantificação do consumo hídrico de cultivos e podem ser obtidos diretamente por meio de medições micrometeorológicas. Se medidas separadamente, a radiação de ondas curtas incidente (Q_g), irradiância atmosférica de ondas longas (Q_a), radiação de ondas curtas refletida (rQ_g) e irradiância de ondas longas emitidas pela superfície (Q_s) podem ser mais facilmente comparadas do que em medidas integradas de R_n (ALLEN, 2011). Silva (2009) ressalva que o processo de troca de vapor d'água da cana-de-açúcar nas condições semiáridas do vale do submédio São Francisco são governadas especialmente pela disponibilidade de energia, que proporciona um grande volume de água transferido para a atmosfera em forma de vapor, evidenciando a importância de estudos sobre os fatores que regem a dinâmica dessa energia utilizada pela cultura ao longo do seu ciclo de cultivo para essa região. Desse modo, esse estudo visa analisar a variação diária e sazonal dos componentes do balanço de radiação em um cultivo de cana-de-açúcar irrigado sob as condições climáticas do vale do submédio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um canal pertencente à empresa Agroindústrias do Vale do São Francisco S.A. (latitude $09^{\circ} 26' S$; longitude $40^{\circ} 19' W$ e altitude de 396 m), no município de Juazeiro - BA no Submédio do Vale São Francisco, Semiárido brasileiro, durante um ciclo de primeira soca. A área de cultivo com 7,86 ha foi plantada com a variedade RB 92579 em sistema de espaçamento duplo (1,2 m e 0,6 m), irrigada por gotejamento subsuperficial a 20 cm de profundidade. O ciclo de cultivo compreendeu o período de 18 de novembro de 2010 a 25 de outubro de 2011 (341 dias). Os componentes do balanço de radiação foram medidos por meio de um saldo radiômetro, modelo CNR1 (Kipp e Zonnen USA Inc, Bohemia, NY, USA), instalado sobre a cultura, em uma torre de monitoramento instrumentada, localizada no centro da área experimental, como médias de valores instantâneos em intervalos de 30 minutos utilizando-se um datalogger Campbell Science, Modelo CR23X.

Os dados de radiação solar global (Q_g), radiação de ondas curtas refletida (rQ_g), radiação de ondas longas emitida pela superfície em direção à atmosfera (Q_s) e radiação de ondas longas emitidas da atmosfera para a superfície (Q_a) foram medidos pelo CNR1 e com isso foram





computados o saldo de radiação (R_n), o saldo de ondas curtas (BOC) e o saldo de ondas longas (BOL), além do albedo. Para análise estacional dos componentes do balanço de radiação ao longo do ciclo, foram considerados quatro estádios de desenvolvimento, conforme recomendado pela FAO para a cana-de-açúcar, com base no nível de cobertura do solo: Fase I - da brotação ao estabelecimento, correspondente a um período de 22 dias após a colheita (DAC); Fase II - do estabelecimento ao perfilhamento, verificado entre 23 e 111 DAC (90 dias); Fase III – referente ao período de máximo crescimento, compreendido entre os 112 e 306 DAC (195 dias); e Fase IV, correspondente à maturação fisiológica, que ocorreu entre os 307 e 341 DAC (35 dias). Foram selecionados dois dias (nublado – N e ensolarado – S) em cada fase fenológica para apresentação de dados. Adicionalmente foi feita a análise dos parâmetros em termos de valores médios ao longo do dia, em um dia de sol pleno ocorridos próximos entre si num intervalo de 8 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 está representada a variação diurna dos componentes do balanço de radiação observados para um dia ensolarado e um dia nublado selecionados para a Fase II, correspondentes aos dias julianos 357 (23/12/2010, 35 DAC) e 365 (31/12/2010, 43 DAC), respectivamente. Constata-se que para o dia ensolarado a condição de céu limpo produziu valores de Q_a inferiores aos de Q_s (máximos de 401 e 587 Wm^{-2} , respectivamente) que teve seus valores elevados atribuídos à alta disponibilidade de Q_g (valores próximos ao meio-dia $>1000 Wm^{-2}$), o que fez com que o BOL desse dia apresentasse valores bem mais negativos do que para dia nublado. rQ_g apresentou valor máximo de 167,4 em torno do meio dia local, concomitantemente o BOC apresentou valores superiores a 800 Wm^{-2} , próximos ao meio-dia. No dia nublado, a baixa incidência de Q_g sobre a superfície e a condição de céu nublado promoveram menores valores de Q_s ($<478,8 Wm^{-2}$) e valores de Q_a ligeiramente mais elevados (máximo de 454,6 Wm^{-2}), quando em comparação com o dia ensolarado. Isso provocou valores de BOL muito pequenos, fazendo com que R_n apresentasse valores iguais ou muito próximos aos do BOC ao longo do dia. Em termos de energia disponível ao sistema vegetado, o dia ensolarado apresentou razão R_n/Q_g de 57%, contra 71,4% para o dia nublado.



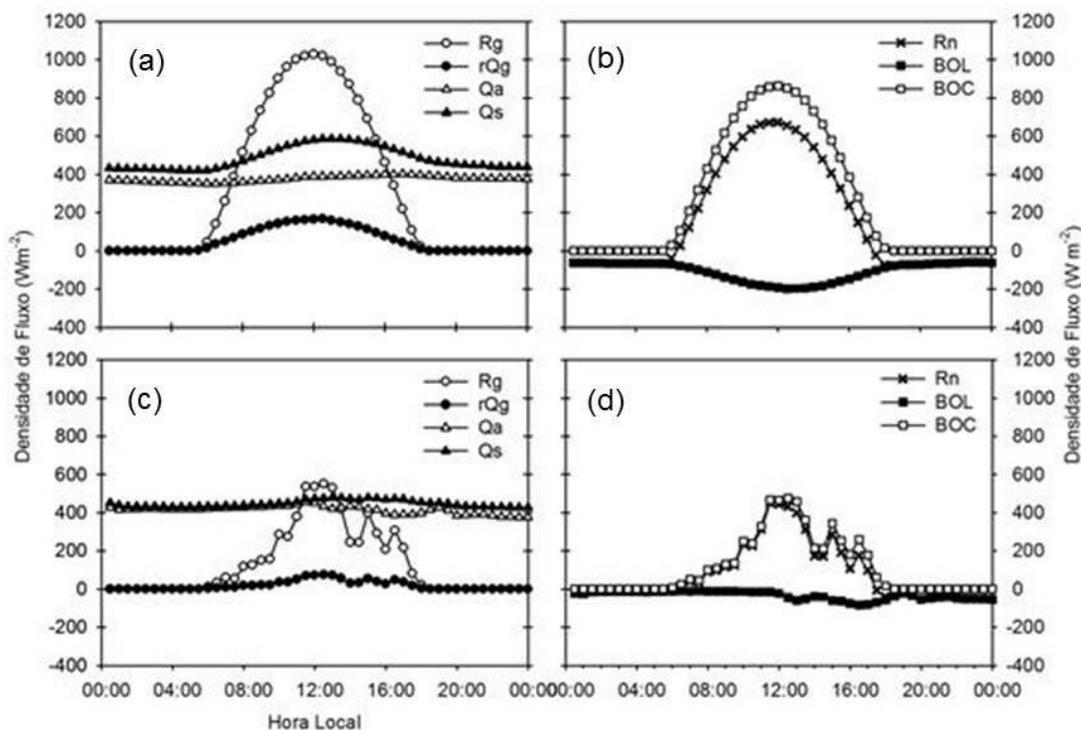


Figura 1. Variação diurna dos componentes do balanço de radiação da cana-de-açúcar para os dias 357 (23/12/2010, 35 DAC, A e B) e 365 (31/12/2010, 43 DAC, C e D).

A Tabela 1 sumariza os valores totais diários para esses parâmetros, bem como para a radiação de ondas longas advinda da atmosfera (Q_a), radiação de ondas longas irradiada pela superfície (Q_s), balanço de radiação de ondas curtas (BOC), balanço de radiação de ondas longas (BOL) e a relação de R_n/Q_g . Na Tabela 1, percebe-se que o menor valor médio de rQ_g contrasta com a maior incidência de Q_g da Fase I quando comparado com as demais. Acontece que esta fase compreende o período de reduzida cobertura do solo (cerca de 2%) (Dados não apresentados), o que sugere uma maior absorção de radiação incidente pelo sistema confirmada pelo maior valor de Q_s . Ainda no que se referem aos valores médios diários, foram observadas nas duas primeiras fases diferenças expressivas de albedo entre o dia ensolarado e o dia nublado em 4,0 pontos percentuais. No entanto, comparando-se entre fases (Tabela 1), em ambos os dias observados para as fases I e II o albedo constatado foi menor que o observado para as fases III e IV. Isso reforça o que foi constatado para rQ_g e indica uma maior absorção da radiação incidente pelo sistema nos dois primeiros casos. Em termos de balanço ondas longas (BOL), a Tabela 1 mostra que a irradiância atmosférica apresentou valores menores do que a irradiância terrestre tanto nos dias ensolarados quanto nublados, para as quatro fases. Porém, verifica-se que a diferença entre Q_s e Q_a foi maior nos dias com maior incidência de radiação global, fazendo com que o BOL apresentasse valores muito mais negativos nos dias ensolarados do que nos dias nublados. Como consequência, em dias ensolarados a amplitude entre Q_g e R_n foi maior do que nos dias nublados.



Tabela 1. Totais diários dos componentes do balanço de radiação (MJ m^{-2}) em um dia ensolarado (S) e um dia nublado (N) em diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar irrigada.

		DAC	Qg*	rQg*	r**	Qa*	Qs*	BOL*	BOC*	Rn*	Rn/ Qg	Qo*	Kt**
Fase I	S	13	29,9	4,4	0,15	32,2	43,1	-10,9	24,7	13,8	47,4	40,7	0,72
	N	22	12,1	1,8	0,15	37,2	38,9	-1,7	10,3	8,5	70,8	40,6	0,30
Fase II	S	35	27,9	4,6	0,17	32,6	41,9	-9,2	23,3	14,0	50,3	40,6	0,69
	N	43	11,3	1,6	0,14	35,9	38,7	-2,8	9,7	6,9	61,2	40,6	0,28
Fase III	S	139	26,4	4,8	0,18	32,7	38,9	-6,2	21,5	15,4	58,2	35,1	0,75
	N	162	15,1	3,0	0,20	34,8	38,2	-3,4	12,1	8,7	57,5	31,9	0,47
Fase III	S	256	22,9	4,4	0,19	31,3	37,7	-6,4	18,4	12,1	52,8	28,5	0,80
	N	271	19,2	4,0	0,21	33,6	37,7	-4,2	15,3	11,1	57,7	30,8	0,63
Fase IV	S	310	26,7	5,8	0,22	31,3	39,1	-7,8	20,9	13,2	49,2	37,5	0,71
	N	328	14,9	3,4	0,23	35,1	39,2	-4,1	11,5	7,4	49,3	39,9	0,37

*Valores dados em MJ m^{-2} ; **Adimensional; Qg=Radiação solar global incidente; rQg=radiação solar refletida; r=albedo; Qa=radiação de ondas longas incidente; Qs=radiação de ondas longas refletida; BOC=Saldo de radiação de ondas curtas; BOL=Saldo de radiação de ondas longas; Rn=Saldo total de radiação; Qo=Irradiância solar no topo da atmosfera; S = dia ensolarado; N = dia nublado.

Analisando os termos do balanço de radiação longo do ciclo de cultivo, observou-se que ao início a Qg foi mais elevada, declinando posteriormente de $22,4 \pm 5,4 \text{ MJ m}^{-2}$ em F1 para valores inferiores a $20,0 \text{ MJ m}^{-2}$ na maior parte de F3, que apresentou média de $19,4 \pm 5,4$. Em seguida, observou-se a elevação gradativa da densidade de fluxo de Qg, tendendo a se estabilizar ao período final do ciclo de cultivo, com valores semelhantes aos constatados ao início, comportamento que segue o padrão sazonal de radiação solar incidente na região (MOURA, 2007). As condições de pouco sombreamento do solo até os 44 DAC (cobertura do solo < 50%, dados não apresentados), promoveram uma maior absorção da radiação incidente sobre o sistema levando ao menor valor médio de rQg ($3,2 \pm 0,8 \text{ MJ m}^{-2}$). A partir daí, os valores foram se elevando até ~80 DAC ($3,6 \pm 0,8 \text{ MJ m}^{-2}$), momento em que o albedo (r) tende a se elevar gradualmente até o fim do ciclo. Com o crescimento da cultura foi verificado o incremento no albedo, e os valores constatados para as fases F2, F3 e F4 foram $21 \pm 4,9\%$, $25 \pm 3,1\%$ e $26 \pm 4,7\%$ respectivamente. André (2010), em estudo de balanço de radiação e parâmetros derivados em cana-de-açúcar, obteve valores de albedo de 24, 27, 30 e 31%; Silva (2009) observou valores oscilando entre 15 e 27%, com valor médio de 23% para o ciclo.

CONCLUSÕES

1. Em termos diários, condições de nebulosidade influenciaram consideravelmente nos componentes do balanço de radiação, fazendo com que a energia disponível a todos os processos ocorridos no sistema fosse resultante do BOC.
2. A sazonalidade influenciou na disponibilidade de energia para cada fase fenológica do ciclo de cultivo. No entanto, os menores valores do saldo de radiação em contraste com os maiores valores da radiação solar global disponível nas F1 e F4 se deram pelo fato de parâmetros de superfície terem influenciado consideravelmente em Qa, Qs, principalmente no albedo e consequentemente nos balanços de onda curta e de onda longa.





3. A fase II, do estabelecimento ao perfilhamento da cultura, apresentou maior demanda de energia disponível para realização dos mecanismos físicos responsáveis pelos processos de troca de massa e energia entre as superfícies e a atmosfera, bem como para a realização de processos fisiológicos necessários à manutenção do metabolismo da cultura.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ e à Embrapa pelo apoio financeiro junto aos Processos Universal 479081/2009-3 e Macroprograma 01.06.5.001, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 98, p. 921-929, 2011.

ANDRÉ, R. G. B.; Mendonça, J. C.; Marques, V.S.; Pinheiro, F. M.A.; Marques, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.3, 375 - 382, 2010.

MOURA, M. S. B. de. balanço de energia na cana-de-açúcar irrigada no submédio São Francisco In: XVII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - *CONIRD*, 2007, Mossoró. CD Room. Mossoró : ABID.

PEREIRA, L. S.; OEWIS, T, ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 57, p. 175-206, 2002.

SILVA, T. G. F. Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. 2009. 176 f. Tese (Doutorado em Meteorologia agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

