



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Balanco de energia sobre cultivo de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba



Pedro Vieira de Azevedo¹; Luciano Marcelo Falle Saboya²

¹Agrônomo, Prof. Titular, UACA/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, Fone : (83) 2101-1199, pedro.vieira@ufcg.edu.br

²Agrônomo, Prof. Adjunto (UAEA/CTRN/UFCG), Campina Grande-PB

RESUMO: A cultura da cana-de-açúcar tem grande expressão no país apresentando, para o estado da Paraíba, o principal cultivo na região dos Tabuleiros Costeiros. A produtividade da cana-de-açúcar pode ser aumentada quando da utilização racional da irrigação suplementar que poderá ser mais facilmente determinada quando se conhecem os valores de evapotranspiração de referência (E_{To} , mmd^{-1}) e do coeficiente de cultivo (K_c) ao longo do ciclo da cultura, utilizados na determinação da evapotranspiração da cultura (E_{Tc} , mmd^{-1}), correspondente à lâmina de irrigação a ser aplicada. O método do balanço de energia baseado na razão de Bowen proporciona a determinação indireta da E_{Tc} . Este projeto de pesquisa utilizou dados de experimento de campo conduzido no período de novembro/2011 a setembro/2012, em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar irrigada por pivô central, objetivando determinar a análise do comportamento componentes dos balanços de radiação e energia ao longo do ciclo produção da cana-de-açúcar em condições comerciais nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba. O saldo de radiação apresentou oscilações diárias, acompanhando as condições de transmissividade atmosférica ao longo do período estudado. Por outro lado, as magnitudes dos fluxos médios diários de LE, H e G acompanharam essa tendência. Ao longo do período, o LE não só apresentou grande variação mas também a maior parcela do saldo de radiação. Em termos médios, 87,2% do saldo de radiação foram usados como calor latente, 10% como calor sensível e 1,8% como fluxo de calor do solo.

PALAVRAS-CHAVE: razão de Bowen, fluxos de calor latente e sensível, fluxo de calor no solo

Energy balance on sugarcane grown in the Coastal Plains of the Paraíba State

ABSTRACT: The sugarcane crop has widespread in the country presenting, for the Paraíba state, the main crop in the region of the Coastal Plains. The productivity of sugarcane may be increased when the rational use of supplemental irrigation that can be more easily determined when they meet the evapotranspiration of reference (E_{To} , mmd^{-1}) and crop coefficient (K_c) along of the cycle, used in determining the crop evapotranspiration (E_{Tc} , mmd^{-1}), corresponding to water depth to be applied. The method of energy balance based on the Bowen ratio provides indirect determination of E_{Tc} . This research used data from field experiment conducted from November 2011 to September 2012 in commercial cultivation area of sugarcane irrigated by center pivot, aiming to determine the analysis of the components behavior of the radiation and energy budgets throughout the production cycle sugarcane trading conditions in Coastal Plains of the Paraíba state. The net radiation showed daily fluctuations, following the atmospheric transmissivity conditions during the study period. On the other hand, the magnitude of the daily average fluxes of LE, H and G followed this trend. Over the period, the LE not only showed large variations but also the largest share of the net radiation. On average, 87.2% of net radiation were used as latent heat, 10% as sensible heat and 1.8% as soil heat flux.

KEYWORDS: Bowen ratio, latent and sensible heat fluxes, soil heat flux.

INTRODUÇÃO

A demanda hídrica pode ser determinada não apenas pelo método do balanço hídrico no solo quanto pelo método do balanço de energia sobre a vegetação. O balanço de energia baseado na Razão de Bowen (BERB), utilizado para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), é um método racional, prático e indireto, utilizado para quantificar a evapotranspiração das culturas representando a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície, determinado pela relação entre o fluxo de calor sensível do ar (H , Wm^{-2}) e o fluxo de calor latente (LE , Wm^{-2}) (Perez et. al., 1999).

Vários trabalhos com o uso desta metodologia têm sido realizados em cultivos de cana-de-açúcar (Toledo Filho, 2001; Inman-Bamber & Mcglinchey, 2003; André et al., 2010; Borges et al., 2010). Assim, a presente pesquisa objetivou a análise do comportamento componentes dos balanços de radiação e energia ao longo do ciclo produção da cana-de-açúcar em condições comerciais nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento de campo foi realizado no período de novembro/2011 a setembro/2012, na Usina Miriri, na Zona da Mata Norte do estado da Paraíba, localizado no município de Capim-PB (100,3 km²), em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar, com coordenadas geográficas: 6°54'59,88" S; 35°09'17,86" O e altitude de 100 m acima do nível do mar.

Observações meteorológicas

Uma torre micrometeorológica na área experimental, com os seguintes sensores: um saldo radiômetro para medição do saldo de radiação (S_r); dois psicrômetros aspirados, para medir as temperaturas dos bulbos seco e úmido; dois anemômetros na mesma altura dos psicrômetros; dois fluxímetros a 0,02 m de profundidade, para medir o fluxo de calor no solo; dois piranômetros instalados a 0,5 m de altura do dossel da cultura, um com o sensor voltado para cima (R_g) e o outro para baixo (R_r). Todos os sensores foram acoplados a um sistema de aquisição eletrônica de dados (Datalogger), programados para efetuar leituras a cada segundo e armazenar valores médios a cada 20 minutos.

Balanço de energia

O balanço de energia foi estabelecido considerando-se que o saldo de radiação pode ser determinado pela equação (Rosemberg et al., 1983):

$$S_r \cong \lambda E + H + G + S + F \quad (1)$$

Onde: S_r = saldo de radiação; λE = fluxo de calor latente; H = fluxo de calor sensível; G = fluxo de calor no solo; S = energia armazenada na vegetação; F = energia utilizada no processo fotossintético, todos em ($W m^{-2}$).

Na realização do balanço de energia sobre um dossel vegetativo os termos referentes à energia armazenada na vegetação (S) e à energia utilizada no processo fotossintético (F) foram desprezados devido à sua pequena representatividade em relação ao saldo de radiação e à dificuldade no seu cômputo (Heilman et al., 1994). Assim, o saldo de radiação foi obtido como:

$$S_r = \lambda E + H + G \quad (2)$$

Desprezando-se os efeitos de advecção e as variações no calor armazenado no dossel vegetativo e assumindo a igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível (K_h) e latente (K_w) e $(\partial T/\partial z)/(\partial e/\partial z) \approx \Delta T/\Delta e$, a razão de Bowen foi obtida como:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3)$$

Onde: $\Delta T = T_2 - T_1$ e $\Delta e = e_2 - e_1$ são as diferenças de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e pressão real de vapor d'água (kPa) em dois níveis acima da superfície vegetada.

Combinando a equação (2) com a equação (3), o fluxo de calor latente foi obtido como:

$$\lambda E = \frac{Sr - G}{1 + \beta} \quad (4)$$

O fluxo de calor sensível foi obtido por diferença entre o saldo de radiação, o calor latente e fluxo de calor no solo, pela equação:

$$H = S_r - \lambda E - G \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fases fenológicas da cana-de-açúcar

Na presente pesquisa foi adotada a divisão do ciclo fenológico apresentado na Tabela 3 para a cana-de-açúcar cultivada em regiões tropicais (Allen et. al., 1998). No estabelecimento de um canavial a brotação das soqueiras (Fase I) e o perfilhamento (Fase II) são essenciais na determinação da população de plantas na área (Tabela 3).

Tabela 1 - Fases fenológicas utilizadas para cana-de-açúcar cultivar RB92579 cultivada em Tabuleiro Costeiro do estado da Paraíba, 2011/2012

Fase Fenológica	Dias após o Corte (DAC)		
	Início	Término	Duração
I. Brotação e emergência dos colmos	0	30	30
II. Perfilhamento e estabelecimento da cultura	31	51	20
III. Crescimento dos colmos	52	232	180
IV. Maturação dos colmos	233	320	87
Ciclo total			317

Comportamento dos componentes do balanço de energia

O comportamento do saldo de radiação (S_r), do fluxo de calor latente (LE); do fluxo de calor sensível (H) e do fluxo de calor no solo (G) é apresentado na Figura 1 e Tabela 2. As oscilações de valores de S_r foram acompanhadas pelos demais parâmetros. Em termos médios, os percentuais em relação ao S_r foram: LE = 87,2%, H = 10% e G = 1,8% (Tabela 2).

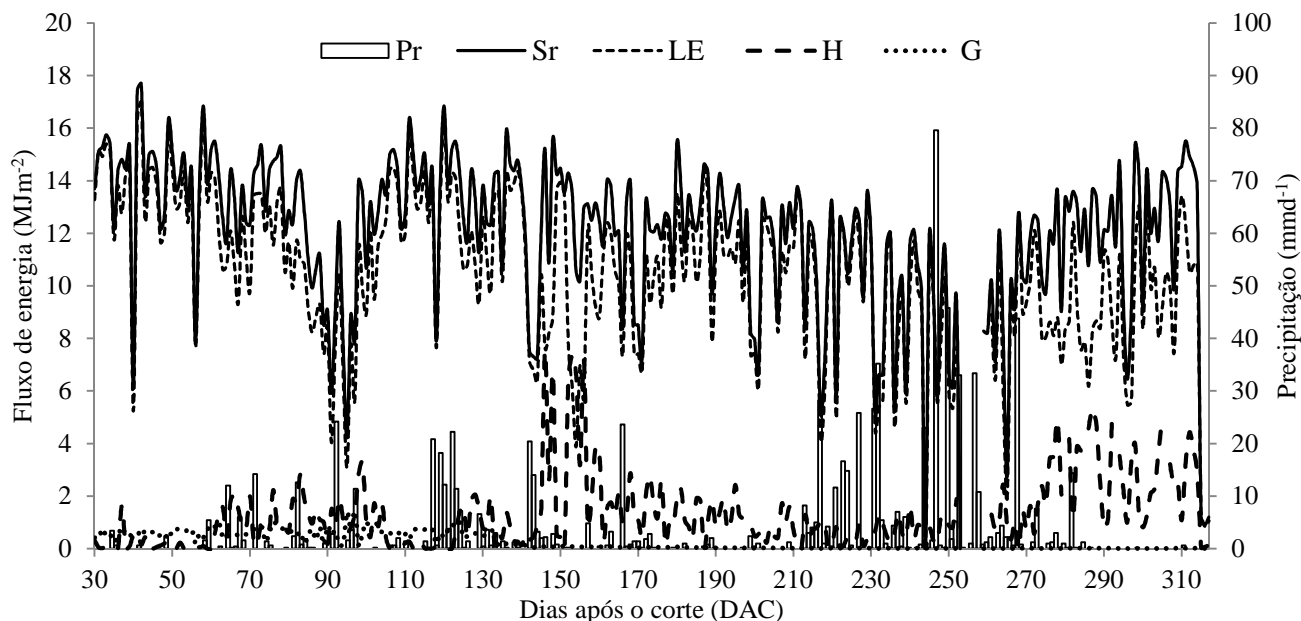


Figura 1 – Variação do saldo de radiação (Sr), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor do solo (G) e da precipitação (Pr, mmd^{-1}), para cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012.

Tabela 2 - Valores médios dos componentes do balanço de energia (Sr, LE, H, G) e da partição do Sr em fluxo de calor latente (LE/Sr), calor sensível do ar (H/Sr) e fluxo de calor no solo (G/Sr) para cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012

Mês/ano	Sr	LE	H	G	LE/Sr	H/Sr	G/Sr
	----- $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ -----				-----%-----		
11/11	14,4	13,8	0,3	0,54	94,8	1,9	3,4
12/11	13,8	12,7	0,5	0,63	91,5	3,6	4,1
01/12	11,5	9,7	1,3	0,66	83,2	11,3	6,2
02/12	13,7	12,7	0,5	0,61	91,5	3,6	4,0
03/12	12,7	10,3	2,3	0,09	80,9	17,5	0,2
04/12	12,1	10,7	1,4	0,05	87,8	10,9	0,0
05/12	11,0	10,2	0,7	0,02	92,0	6,9	0,0
06/12	8,9	8,5	0,7	0,02	93,6	8,1	0,3
07/12	10,7	8,7	2,1	0,01	78,8	17,5	0,0
08/12	11,6	9,0	2,5	0,01	78,2	18,7	0,1
Média	12,0	10,6	1,2	0,3	87,2	10,0	1,8

O saldo de radiação apresentou oscilações diárias, acompanhando as condições de transmissividade ao longo do período estudado; por outro lado as magnitudes dos fluxos médios diários de LE, H e G acompanharam essa tendência. Ao longo do período, o LE não só apresentou grande variação mas também a maior parcela do saldo de radiação. Em cultivo de cana-de-açúcar em condições de sequeiro com a mesma cultivar RB92579 e no mesmo local desta pesquisa, de junho a setembro de 2011, Oliveira (2012) observou comportamento similar em termos de predominância de LE sobre H e G, destacando que a variação decorreu do regime de chuvas e da nebulosidade da região; ressaltou, também, que a variação do saldo de radiação é que comanda a variação de LE, H e G. Este comportamento também foi observado em trabalhos com cana-de-açúcar, realizados por André et al. (2010) em Campos de

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Goytacazes-RJ, por Silva et al. (2011) em Juazeiro-BA, em que a maior porção do saldo de radiação foi transformada em fluxo de calor latente.

Durante todo o ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Esteves et al. (2012) observaram que o saldo de radiação foi consumido, em média, nas seguintes porcentagens: 53% pelo fluxo de calor latente; 37% pelo fluxo de calor sensível e 10% pelo fluxo de calor no solo e destacaram que na fase de desenvolvimento dos colmos, durante um período prolongado de baixa disponibilidade hídrica, houve queda tanto em relação às taxas de crescimento vegetal como no consumo da energia pelo fluxo de calor latente, demonstrando sua interdependência com o regime hídrico e a cobertura vegetal.

Verifica-se, em canaviais, que quando a cultura dispõe de umidade suficiente, tanto no solo como no dossel, a maior quantidade do S_r é utilizada na evapotranspiração, na forma de LE e em menores quantidades por H e G, mostrando que tal diferença ocorreu em virtude da alta variação na nebulosidade e nas precipitações. Esses resultados concordam com os obtidos em vários trabalhos com balanço de energia em culturas anuais e perenes, através dos quais se concluiu que a maior porção do saldo de radiação é transformada em fluxo de calor latente (André et al., 2010; Silva et al., 2011).

André et al. (2010) obtiveram S_r variando de 10,9 a 17,26 MJ m⁻² d⁻¹, sendo a maior parte utilizada pelo LE, que variou de 79% no início do perfilhamento a 99% no final da maturação; já o H apresentou pequenas variações com valores muito baixos tal como o G. O excesso de umidade, no solo ou no dossel da cana-de-açúcar contribuiu durante o período estudado, para os elevados valores de LE uma vez que a energia, ao incidir sobre a superfície, é prioritariamente utilizada no processo de transferência de água, na forma de vapor, para a atmosfera (evapotranspiração) para, posteriormente e em menor quantidade, ser utilizada nos processos de aquecimento do ar (H) e do solo (G).

H e G apresentaram valores muito baixos da partição da radiação líquida proporcionando também pequenas oscilações durante os meses. O decréscimo e o acréscimo ocorridos nos referidos meses não proporcionaram grandes diferenças em comparação individual das partições da radiação líquida, o que pode estar associado ao período que compreendeu à pesquisa. Esta ordem de grandeza, com predominância de S_r para LE seguido de H e G, tem sido padrão observado nas determinações do balanço de energia, que empregam o uso da razão de Bowen em culturas agrícolas (Silva et al., 2009; André et al., 2010). Em cultivo da cana-de-açúcar no estado do Rio de Janeiro, André et al. (2010) observaram que para os dias típicos o fluxo de vapor d'água representou 78% (DAC = 109), 80% (DAC = 197), 91% (DAC = 260) e 96% (DAC = 339) do valor do S_r e ainda constataram que para as fases de perfilhamento, desenvolvimento de colmos e maturação, o fluxo de vapor d'água apresentou valores médios de 79; 87; 99 e 120% do S_r , respectivamente.

Silva et al., (2011) trabalhando com a cana-de-açúcar cultivada em Juazeiro-BA obtiveram resultados que se assemelham, em parte, aos desta pesquisa, em que a maior porção do S_r disponível para o cultivo foi utilizada para o LE (81%), seguido do H (16%) e o G (3%). Já Silva et al. (2009) obtiveram em experimento com manga, em Petrolina-PE, 78% do S_r sendo utilizado como LE, 18% como H e 4,4% como G. Os autores também observaram que a prática de irrigação interfere nas trocas energéticas entre a comunidade vegetal e a atmosfera circundante, aumentando a relação LE/ S_r e diminuindo H/ S_r

CONCLUSÕES

A análise dos dados obtidos em experimento de campo ao longo do ciclo de produção da cana-de-açúcar em condições comerciais dos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, no período novembro/2011 a setembro/2012, permite concluir que os dados analisados apresentaram consistência física superior a 60%, possibilitando a realização do balanço de energia pela razão de Bowen.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ANDRÉ, R.G.B; MENDONÇA, J.C.; PINHEIRO, F.M.A.; MARQUES, V. S. 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, p.375-382. 2010.

BORGES, C. J. R., SILVA, V. de P. R., FARIAS, C. H. de, AZEVEDO, P. V. de, ALBUQUERQUE, W. G. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar em Tabuleiro costeiro paraibano usando a Razão de Bowen**: Estudo preliminar. XVI Congresso brasileiro de meteorologia, Belém-PA, 2010.

ESTEVES, B. dos S.; SOUZA, E. F. de; MENDONÇA, J. C.; LOUSADA, L. L. de; MUNIZ, R. de A.; MARCIANO, C. R.; SIQUEIRA, D. P. Desenvolvimento e balanço de energia da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Interciencia**, v.37, n. 6, p. 438-443, 2012.

HEILMAN, J.L.; MCLNNES, K.J.; SAVAGE, M.J.; GESH, R.W.; LASCANO, R.J. Soil and canopy energy balance in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.71, p.99 - 114, 1994.

INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, v. 76, p. 71-84, 2002.

INMAN-BAMBER, N. G.; MCGLINCHEY, M. G. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, v. 83, p. 125–138, 2003.

OLIVEIRA, F. da S. **Balanço de energia em cana-de-açúcar na região dos tabuleiros costeiros paraibano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2012.

PAYERO, J. O.; NEALE, C. M. U.; WRIGHT, J. L.; ALLEN, R. G. Guidelines for validating Bowen ration data. **Transactions of the ASAE**. Vol. 46(4): 1051–1060, 2003.

PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBÁÑEZ, M.; ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, n.3, p.141-50, 1999.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate: the biological environment**. 2º., ed. Boston: Awiley- Interscience, 495p. 1983.

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**. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2009.

SILVA, T. G. F. da, MOURA, M. S. B. de, ZOLNIER, S., SOARES, J. M., SOUZA, L. S. B.; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p. 139-147, 2011.

TOLEDO FILHO, M. da R. **Estado micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas**, Tese (Doutorado em Fitotecnia – agrometeorologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 2001.