

BALANÇO DE ENERGIA EM CULTIVO DE CANA-DE-AÇUCAR NA REGIÃO DE TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

MARCOS A. DOS SANTOS¹, GUSTAVO B. LYRA², JOSÉ LEONALDO DE SOUZA³,
GUILHERME B. LYRA⁴, IÊDO TEODORO⁵, MERCEL J. DOS SANTOS⁶

1- Graduando em Agronomia, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Maceió – AL, marcosalex.ma@gmail.com

2 – Meteorologista, Prof. Adjunto, Dep. de Ciências Ambientais, Inst. de Florestas, UFRRJ, Seropédica – RJ.

3 – Meteorologista, Prof. Associado, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL

4 – Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Dep. de Solos, Engenharia e Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo – AL.

5 – Eng. Agrônomo, Prof. Assistente, Dep. de Solos, Engenharia e Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo – AL

6 - Graduando em Meteorologia, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo avaliar a partição da energia disponível a superfície para o fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) em cultivo de cana-de-açúcar no período úmido da região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas. O estudo foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias (09° 28'02'' S; 35° 49'43'' W; 127 m) da Universidade Federal de Alagoas num cultivo de cana-de-açúcar, variedade RB 92759, com área de seis hectares. Os fluxos LE e H foram determinados pelo método do balanço de energia-Razão de Bowen com medidas do perfil de temperatura e umidade do ar a duas alturas acima do dossel (0,2 e 2,2 m). O balanço de energia foi avaliado entre 03 e 27/06/07, que coincidiu com parte do período úmido da região. A maior parte do saldo de radiação (79,7 %) foi consumida pelo fluxo de calor latente, sendo seguido pelo fluxo de calor sensível (18,9 %) e em menor proporção pelo fluxo de calor no solo (1,4 %). As condições de nebulosidade não influenciam na partição dos fluxos de energia em cultivo de cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: Razão de Bowen, saldo de radiação, cana-de-açúcar

ENERGY BUDGET ON SUGARCANE IN THE TABLELANDS REGION OF ALAGOAS, BRAZIL

ABSTRACT: The aim of this paper was to assess the partitioning of the available energy to surface for the latent (LE) and sensible (H) heat flux on sugarcane cultivation at one part of the rainy season of the tablelands region of Alagoas. The study was carried out in the Centro de Ciências Agrárias of Universidade Federal de Alagoas on a sugarcane cultivation, RB 92 579 variety, with 6 ha of area. The latent and sensible heat fluxes were determined by the Bowen ration-energy balance method with profile measurements of the air temperature and humidity at two heights above the canopy (0.2 and 2.2 m). The energy budget was assessed from 03 to 27/06/07, which coincided with one part of the rainy season. The greatest part of net radiation (79.7%) was used by the latent heat flux, followed by the sensible heat flux (18.9%) and the smallest proportion was used by the soil heat flux (1.4%). The evaluated

cloudy conditions did not influence on the partitioning of energy fluxes on the cultivation of sugarcane.

KEYWORDS: Bowen ratio, net radiation, sugarcane

INTRODUÇÃO: O estudo do balanço de energia, em superfícies vegetadas, permite quantificar a energia consumida pelos processos que atuam na superfície, tais como, fluxo de calor latente (evapotranspiração) e calor sensível do ar (aquecimento do ar) e do solo, assim como a partição da energia disponível entre esses processos. Desta forma, pode-se avaliar, em termos energéticos, as modificações e impactos no microclima decorrentes de mudanças no uso e ocupação do solo (vegetação nativa, culturas agrícolas, pastagem, entre outras), de diferentes práticas agrícolas (irrigação e cobertura morta (*mulching*)) e do crescimento e desenvolvimento da cultura. O método do balanço de energia - razão de Bowen (BERB) é um dos mais utilizados para dimensionar o balanço de energia em superfícies vegetadas. O método consiste primeiramente em estimar a razão entre fluxo de calor sensível e latente, denominado de razão de Bowen (β). A razão de Bowen é obtida pelos gradientes verticais de temperatura e umidade do ar, determinadas por medidas desses elementos em pelo menos dois níveis acima da superfície, e considerando a similaridade de Monin-Obukhov. Posteriormente, aplica-se β a equação do balanço de energia para se determinar os fluxos a superfície. No entanto, apesar da aparente simplicidade, a aplicação do BERB requer que diversas condições sejam satisfeitas (Brutsaert, 1982; Perez et al., 1999). A produtividade de cana-de-açúcar região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas é considerada baixa, quando comparada com a produtividade potencial. A prática de irrigação é vista como um das práticas para aumentar os índices de produtividade de cana-de-açúcar na região (Santos et al., 2009). Por conseguinte, o balanço de energia é uma forma de quantificar a necessidade hídrica real da cultura e, desta forma, aumentar a eficiência do uso da água na irrigação. O objetivo deste trabalho é avaliar a partição da energia disponível a superfície para o fluxo de calor latente e sensível em cultivo de cana-de-açúcar no período úmido da região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias (09° 28'02'' S; 35° 49'43'' W; 127 m) da Universidade Federal de Alagoas, num cultivo de cana-de-açúcar, variedade RB 92 759, de seis hectares. O plantio foi realizado em 16/09/05 e colhido em 12/11/06. Detalhes referentes aos tratamentos culturais e medidas das variáveis biométricas são relatados por Abreu et al. (2007).

O balanço de energia foi avaliado entre 03 e 27/06/07, que coincidiu com parte do período úmido da região. Durante esse período, o índice de área foliar da cana variou de 4,7 a 7,5 e correspondeu à fase fenológica intermediária, segundo a classificação do boletim FAO56 (Allen et al., 1998).

O método de balanço de energia se baseia no princípio físico de conservação de energia e, de forma simplificada, pode ser expresso como:

$$R_n + LE + H + G \cong 0 \quad 01$$

em que, R_n ($W m^{-2}$) é saldo de radiação, H ($W m^{-2}$) é o fluxo de calor sensível, LE ($W m^{-2}$) é o fluxo de calor latente e G ($W m^{-2}$) é o fluxo de calor no solo.

O método da razão de Bowen consiste em determinar a partição de energia entre H e LE , dado por

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad 02$$

Substituindo a eq. 02 em 01 e isolando LE e H, obtém-se:

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad 03$$

$$H = \frac{\beta}{1 + \beta} (Rn - G) \quad 04$$

O valor de β foi obtido considerando que a razão entre os coeficientes de transferência turbulenta para calor e vapor é igual à unidade, ou seja, em acordo com a teoria de similaridade de Monin-Obukhov, pela relação:

$$\beta = \gamma \frac{T_1 - T_2}{ea_1 - ea_2} \quad 05$$

em que, γ (kPa °C⁻¹) é o coeficiente psicrométrico, T (°C) é a temperatura do ar, ea (kPa) é a pressão parcial de vapor d'água do ar e os índices subscritos 1 e 2 indicam os níveis de medida, respectivamente, 0,2 m da copa da cultura e a dois metros acima da primeira medida. As convenções usadas para os sinais dos fluxos de energia foram positivo em direção a superfície e negativo na direção oposta, ou seja, "saindo" da superfície. As observações utilizadas nas análises foram selecionadas baseadas nos critérios apresentados por Perez et al. (1999) para definir os valores de β e as condições onde as relações dos componentes do balanço de energia foram consistentes.

O Rn foi obtido por um saldo radiômetro (CNR1, Kipp & Zonen, Holanda) instalado a 0,5 m acima do dossel. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos por dois temohigrômetros (HMP35, Vaisala, Finlândia). Esses instrumentos estavam instalados num mastro micrometeorológico no interior do cultivo de cana, com uma bordadura de aproximadamente 300 m, na direção predominante do vento; sendo que a área do experimento era circundada por cultivos comerciais de cana-de-açúcar. G foi obtido por um fluxímetro (HFT3, Campbell Scientific Inc, USA) a 0,08 m de profundidade. As medidas foram realizadas em intervalos de 10 segundos, sendo as médias armazenadas a cada 10 min, com auxílio de um *datalogger* (CR10X, Campbell Scientific Inc, USA). Nas determinações do BERB utilizaram-se médias de 30 min dos elementos meteorológicos medidos.

Avaliaram-se também os fluxos em função das condições de nebulosidade. As condições de nebulosidade foram definidas em função do índice de claridade (Kt), determinado pela razão entre a irradiância solar global e a do topo da atmosfera. Os dias com $Kt \geq 0,7$, classificado como céu claro, $0,3 < Kt < 0,7$ céu parcialmente nublado e com $Kt < 0,3$ céu parcialmente nublado (Iqbal, 1983).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A análise da consistência das observações dos componentes de energia mediante os critérios proposto por Perez et al. (1999) e dos valores de β mostrou que 42% do total das 618 observações de 30 min foram classificadas como inconsistentes e, conseqüentemente, rejeitadas. A maior proporção das rejeições (76,5%) foi observada no período noturno. Tais constatações se enquadram com os resultados obtidos por Perez et al. (1999).

Na Figura 1 é mostrada a partição de energia disponível (Rn - G) para os processos de aquecimento do ar (fluxo de calor sensível) e evapotranspiração (fluxo de calor latente) em todas as condições de nebulosidade. A maior parte da energia disponível no meio (Rn - G) foi utilizada para o processo de evapotranspiração (75%), em quanto que a menor proporção foi utilizada para o processo de aquecimento do ar (25%).

A variação diária dos componentes do balanço de energia em diferentes condições de nebulosidade é mostrada na Figura 2. Notou-se que a variação de LE, H e G foi condicionada pela variação de Rn. A média que Rn aumentou (diminuiu), os demais componentes do

balanço de energia respondem em proporções similares, de modo que a partição final de energia não se alterou. Em dias com céu parcialmente nublado, observou-se maior variação dos componentes do balanço de energia, contudo a partição de energia não foi influenciada. Em todas as condições de nebulosidades analisadas, a partição média de energia foi de 79,7, 18,9 e 1,4 % de Rn para o fluxo de calor latente, calor sensível e calor do solo, respectivamente. Cabral et al. (2003), analisando fluxos turbulentos em cana-de-açúcar em Sertãozinho – SP, também encontram que a maior parte de Rn foi consumida como fluxo de calor latente, sendo esse maior no período chuvoso da região. O excesso de umidade, tanto no solo como no dossel da cana-de-açúcar, durante o período estudado, contribui, desta forma, para os elevados valores de LE, uma vez que a energia ao incidir sobre a superfície era utilizada primeiramente para a evaporação da água e posteriormente, em menor quantidade, para os processos de aquecimento do ar (H) e do solo (G).

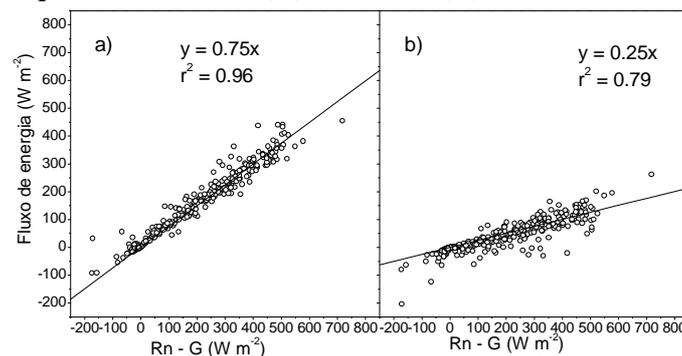


Figura 1. Relação entre energia disponível ($Rn - G$, $W m^{-2}$) e a) fluxo de calor latente de vaporização (LE , $W m^{-2}$) e b) fluxo de calor sensível (H , $W m^{-2}$).

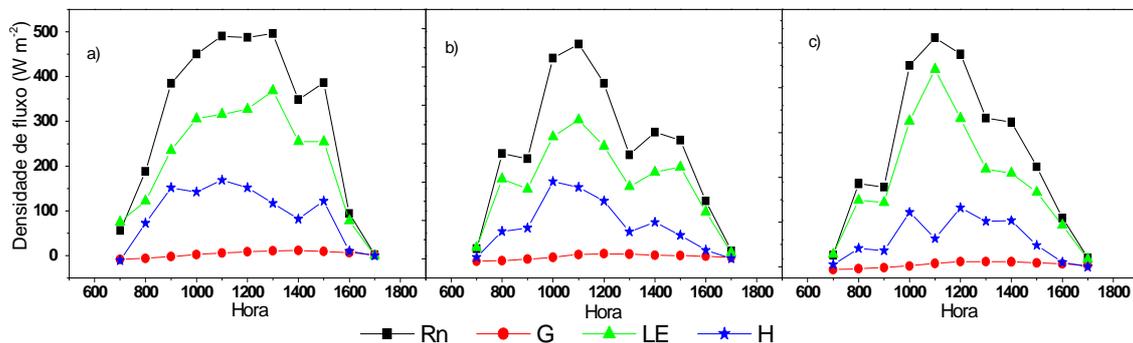


Figura 2. Componentes do balanço de energia (saldo de radiação - Rn; fluxo de calor no solo - G; fluxo de calor latente - LE; e fluxo de calor sensível - H) em diferentes condições de nebulosidade: a e b) parcialmente nublado e c) nublado.

A relação entre a energia disponível ($Rn - G$) e os fluxos de calor latente e calor sensível sobre o dossel de cana-de-açúcar, durante a fase intermediária, em diferentes condições de nebulosidades, é mostrada na Figura 3. Notou-se que não houve diferença expressiva na partição de energia entre os dias de céu nublado e parcialmente nublado. A diferença na partição entre os fluxos, nessas condições, foi de apenas 1%. Desta forma, o grau de nebulosidade não influenciou significativamente na partição de energia. No entanto, esse fato não foi observado com relação à magnitude dos fluxos, como era de se esperar, uma vez que o grau de nebulosidade afeta diretamente a quantidade de energia disponível a superfície. Um exemplo foi o dia do ano 158 (dd/mm) com Kt igual a 0,26, o total diário de Rn foi de $5,22 W m^{-2}$, e partição de energia foi de 78,6% para LE e 21,5% para H; enquanto que em um dia parcialmente nublado (dia do ano 169), com Kt igual 0,67, o total diário de Rn foi de $12,74 W m^{-2}$, e partição de energia foi de 72 % para LE e 25% para H. Os respectivos dias coincidiram com os dias de Kt mínimo e máximo do período em estudo e, conseqüentemente, coincidiram com os extremos de Rn.

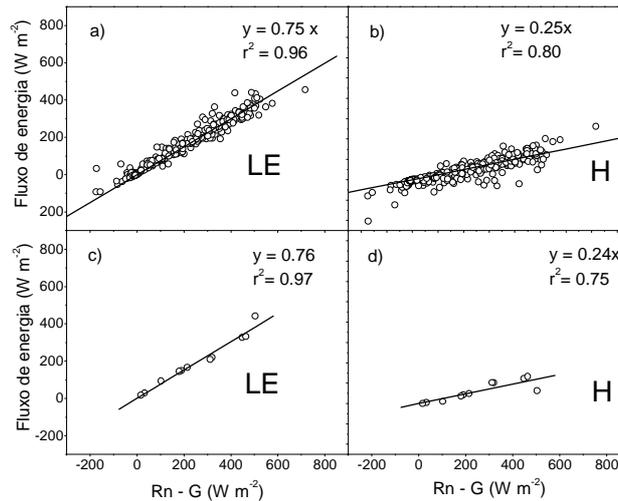


Figura 3 - Relação entre energia disponível ($Rn - G$) e fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor específico (H) em condição de céu parcialmente nublado (a,b) e nublado (d, e).

CONCLUSÕES: A maior parte do saldo de radiação no período úmido da região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas é consumida pelo fluxo de calor latente (79,7%), sendo seguido pelo fluxo de calor sensível (18,9%) e, em menor quantidade, pelo fluxo de calor no solo (1,7%). As condições de nebulosidade não influenciam na partição dos fluxos de energia em cultivo de cana-de-açúcar

AGRADECIMENTOS: CNPq/CT-HIDRO 504068/03-2, CNPq/Universal 479143/2007-2, PIBIC; CAPES, UFAL/PROEST, RIDESA/PMGCA/UFAL

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ABREU, M.L.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G.V.S.; COSTA, S.I.A.; ARAUJO, L.S.; SORIANO, H.L.; RAMOS, R.P.; CERQUEIRA, L.J.F. Produtividade de variedades de cana RB versus condições agrometeorológicas na região de Rio Largo-AL. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007. Aracaju – SE. CD-ROM.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).
- BRUTSAERT, W., 1982. Evaporation into the atmosphere. Theory, History and applications. D. Reidel publishing company, 229p.
- CABRAL, O.M.L.; ROCHA, H.R.; LIGO, M.A.V.; BRUNINI, O.; DIAS, M.A.F.S. Fluxos turbulentos de calor sensível, vapor de água e CO_2 , sobre plantação de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) em Sertãozinho-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 1, p. 61-70, 2003.
- IQBAL, L.M. An introduction to Solar Radiation. New York, Academic Press. 1983.
- PEREZ, P.J., CASTELLVI, F., IBANEZ, M., ROSELL, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest meteorology**. Amsterdam, v. 97, p. 141-150, 1999.
- SANTOS, M.A.; LYRA, G. B.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; SEDIYAMA, G. C. Coeficiente da cultura no estágio inicial de desenvolvimento para cana-de-açúcar em diferentes datas de plantio na região de tabuleiros costeiros de alagoas. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 27, p.30 – 33, 2009.