

## **PADRÕES HORÁRIOS DO BERB EM PERÍODOS DE CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇUCAR RB 92-579 IRRIGADA - SAFRA 2007/2008**

Thieres George Freire da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada -  
UFRPE/UASt/PPGPV/CPGEA/PQ-CNPq/GAS, Serra Talhada-PE. Brasil. E-mail: [thieres@pq.cnpq.br](mailto:thieres@pq.cnpq.br)

**Resumo do artigo:** O método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB) é um dos mais utilizados em estudos micrometeorológicos, visando melhorar o entendimento sobre a interação entre a atmosfera e a vegetação. Alguns relatos são citados para a cana-de-açúcar em diferentes regiões brasileiras, porém pouco se aborda quanto a sua variação horária. Logo, objetivou-se analisar os padrões horários do balanço de energia em um cultivo de cana-de-açúcar RB 92-579 irrigada, safra 2007/2008, no Sertão Central do Brasil. Este estudo foi conduzido em um talhão experimental, situado no município de Juazeiro, Bahia. A cana-de-açúcar, variedade RB 92579, foi conduzida no ciclo de cana-soca (segundo ciclo da cultura). Para a quantificação dos componentes do balanço de energia foi instalada uma torre micrometeorológica com vários instrumentos eletrônicos. A partição do balanço de energia à superfície, entre os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), foi obtida por meio da razão de Bowen ( $\beta$ ). Cinco períodos representativos do ciclo da cultura foram escolhidos para analisar os padrões horários. Como consequência, pode-se verificar que a contribuição do LE sempre foi superior a do H, independentemente do horário do período diurno, com maiores valores durante à tarde. Logo, os valores de  $\beta$  tornaram-se maiores durante a manhã (8 e 12 h,  $\beta \sim 0,18$ ). Os padrões horários do BERB acima da cana-de-açúcar responderam fortemente às variações de incidência de radiação solar global e às características da superfície como alterações no umedecimento do solo, aumento do índice de área foliar ou evento de tombamento.

Palavras-chave: análise de dados micrometeorológicos, balanço de energia à superfície, semiárido.

### **INTRODUÇÃO**

O método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB) é um dos mais utilizados em estudos micrometeorológicos, visando melhor entender a interação entre a atmosfera e a vegetação. Para a partição da energia disponível ( $R_n - G$ ) entre os fluxos de calor latente (LE) e sensível (H), o método BERB se baseia na relação do fluxo-gradiente e na transferência de massa. É um método indireto, quando comparado ao método dos Vórtices Turbulentos, que mede diretamente os fluxos, ou aos lisímetros de pesagem, que medem a variação de massa de um volume de solo (INMAN-BAMBER & MCGLINCHEY, 2003).

No entanto, para sua aplicabilidade, faz-se necessário atender algumas suposições e requerimentos. Dentre elas, tem-se a hipótese da igualdade dos coeficientes de transferência turbulenta de calor ( $K_h$ ) e de vapor d'água ( $K_w$ ), que pode assumir resultados contraditórios, caso sejam constatadas condições advectivas no ambiente de monitoramento (GAVILÁN & BERENGENA, 2007). Essas condições são evidenciadas, especialmente quando as medições dos sensores instalados acima da cultura não são realizadas dentro da camada limite ajustada ou camada de fluxo constante (PEREZ et al., 1999). Assim, é imprescindível para o uso do método BERB, uma distância mínima de bordadura visando garantir a consistência da estimativa dos valores dos fluxos acima da superfície (HEILMAN et al., 1989).

Outros problemas, inerentes ao método BERB, estão relacionadas às precisões dos sensores utilizados, a aproximação dos valores de  $\beta$  a -1 e as dificuldades de manutenção do sistema, no que se refere ao sensor de temperatura do bulbo úmido. Adicionalmente, tem-se a necessidade de inversão dos psicrômetros para reduzir os erros de medições e, conseqüentemente, a inconsistência dos resultados de LE e de H, a depender dos valores da razão de Bowen (TODD et al., 2000).

O balanço de energia varia conforme o tipo de superfície (TODD et al., 2000; MARIN, 2003; SAN JOSÉ et al., 2007). Alguns relatos são citados para a cana-de-açúcar em diferentes regiões brasileiras (TOLEDO FILHO, 2001; INMAN-BAMBER; MCGLINCHEY, 2003), porém não fazem abordagem sobre esse balanço em escala horária. O conhecimento das trocas de energia acima de uma superfície é de grande relevância, pois permitem entender os processos que governam a interação entre a cultura e a atmosfera e obter parâmetros que possam ser utilizados em modelos de simulação. Logo, objetivou-se analisar os padrões horários do balanço de energia em um cultivo de cana-de-açúcar RB 92-579 irrigada, safra 2007/2008, no Sertão Central do Brasil.

## **METODOLOGIA**

Este estudo foi conduzido em um talhão experimental de 12,17 ha de cana-de-açúcar, situado no município de Juazeiro, Bahia, no Sertão Central do Brasil, Semiárido brasileiro. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* sp.), variedade RB 92579, foi conduzida no ciclo de cana-soca (segundo ciclo da cultura), na safra de 2007/2008. O solo da área experimental é pertencente à classe dos Vertissolos. O cultivo foi realizado na direção leste-oeste, em fileiras com espaçamento de 1,5 m. A adubação foi feita com base nas análises de solo e foliar, onde no início do ciclo de cana-soca foram aplicados 157,5 kg ha<sup>-1</sup> e 0,5 L ha<sup>-1</sup> de uréia e Ajipower, respectivamente. Para o controle de ervas daninhas foram aplicados 1 L ha<sup>-1</sup> dos herbicidas Aminol e Trop. A irrigação era

do tipo superficial por sulcos, utilizando um sistema de condução em tubos janelados, tendo os eventos sido realizadas com base no conteúdo de água no solo obtido por meio de uma sonda FDR (Frequency Domain Reflectometer) modelo PR2/6 (Delta-T Devices Ltd., Burwell, Cambridge, UK) e a partir dos valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (ALLEN et al., 1998). A irrigação foi realizada sempre que o conteúdo de água no solo atingia 50% da capacidade de campo. O experimento foi conduzido entre os meses de junho/2007 a junho/2008, totalizando 389 dias.

Para a quantificação dos componentes do balanço de energia foi instalada uma torre micrometeorológica de oito metros de altura e a 350 m em relação à bordadura, na direção do vento predominante, com vários sensores eletrônicos. O saldo radiômetro (NR-Lite Net radiometer, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah) foi instalado na altura de  $2z_{om} + 1,5 + h_c$  (onde,  $z_{om}$  = parâmetro de rugosidade da superfície para o *momentum* e  $h_c$  = altura do dossel da cultura), juntamente com um sensor de radiação solar refletida (EPPLEY PSP, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA). No topo da torre, foram dispostos um sensor de radiação solar incidente ou global (LI-200SA Quantum sensor, Li-cor, Nebraska, USA), um de radiação fotossinteticamente ativa (LI-190SA Quantum sensor, Licor, Nebraska, USA). Abaixo do dossel da cultura foram dispostos três sensores lineares de radiação fotossinteticamente ativa, de maneira perpendicular e diagonalmente em relação as fileira de cultivo. Além disso, foram instalados três fluxímetros (HFT3-REBS, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA) a 0,02 m de profundidade no solo, situados entre fileiras e na fileira de cultivo. Para a estimativa dos componentes do balanço de energia, também, foram utilizados três psicrômetros ventilados com termopares do Tipo T de Cobre-Constantan, sendo o primeiro localizado a uma altura de  $2z_{om}$  do topo do dossel da cultura, enquanto o segundo a uma distância de 1,5 m do primeiro psicrômetro. O segundo e o terceiro, também, foram posicionados a 1,5 m entre si. Estas distâncias entre os psicrômetros foram mantidas até o final do experimento, contudo os mesmos foram realocados para novas posições em relação ao dossel, à medida que a cultura foi crescendo. Todos os sensores foram conectados a um multiplexador (modelo AM16/32, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA) e a um sistema de aquisição de dados (modelo CR10X, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA) programado para realizar medidas a cada 60 s e armazenar médias em intervalos de 15 min. Cinco períodos representativos do ciclo da cultura foram escolhidos para analisar os padrões horários dos componentes do balanço de energia.

A partição do balanço de energia à superfície, entre os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), foi obtida por meio do método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB).

Os valores de  $\Delta t$  e  $\Delta e$  foram obtidos por meio de medições de temperatura de bulbo seco ( $t_{bs}$ ) e de bulbo úmido ( $t_{bu}$ ) dos psicrômetros situados em dois níveis ( $z_1$  e  $z_2$ ) acima do topo da cultura. Os erros associados com o método BERB na estimativa dos valores de  $\beta$  e, conseqüentemente, no cálculo do fluxo de calor latente (LE) foram utilizados inicialmente os critérios definidos por Perez et al. (1999). De acordo com as recomendações destes autores, avaliou-se a consistência física dos dados com base nos dados do perfil de pressão de vapor d'água em cada horário de medição, na resolução dos sensores e na conversão de sinais da relação fluxo-gradiente (Figura 1).

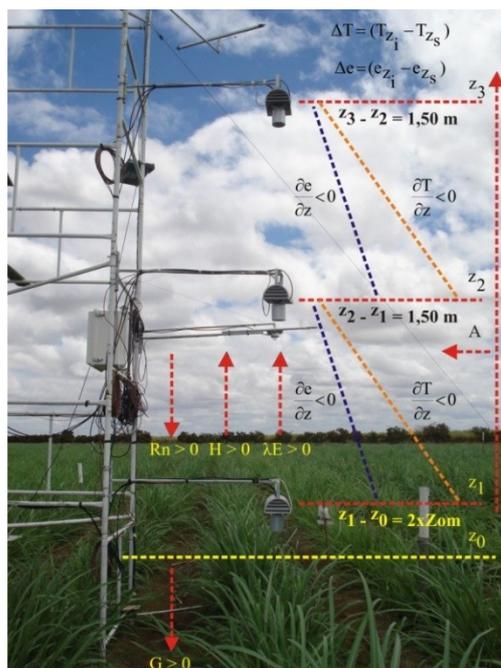


Figura 1. Representação esquemática da convenção dos sinais dos fluxos de energia na interface entre a cana-de-açúcar e a atmosfera.

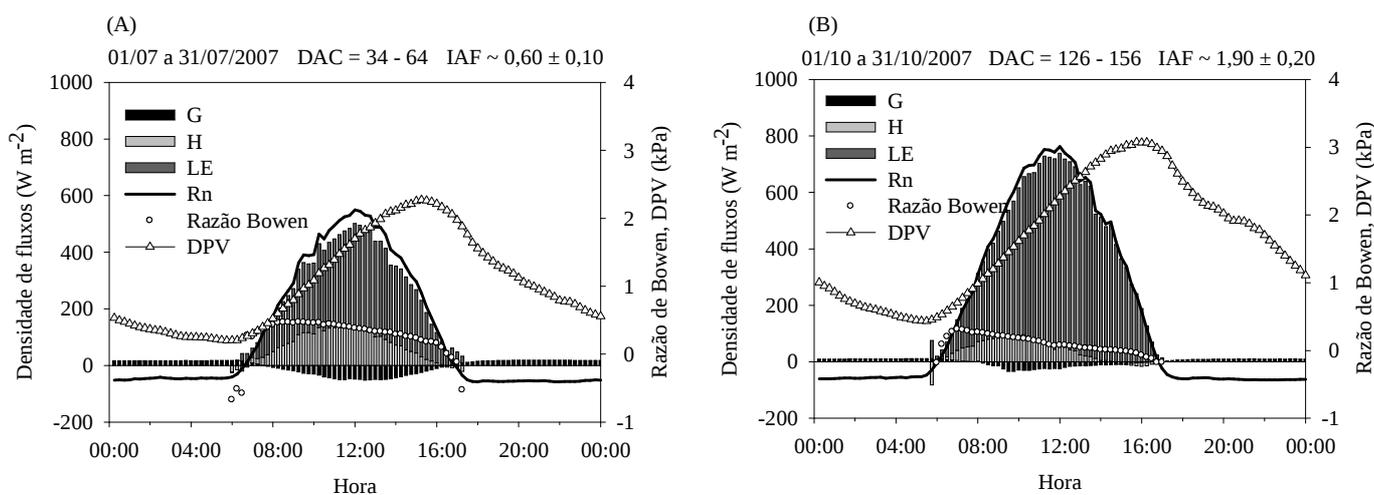
Para o cálculo dos valores diários de LE e H foram considerados os dados a cada 15 minutos, quando  $(R_n - G)$  foram positivos. Contudo, utilizou-se apenas os dias que apresentaram pelo menos 80% dos dados de LE e H (médios de 15 minutos) fisicamente consistentes de acordo com os critérios mencionados anteriormente, sendo com isso caracterizado como dias “válidos”. Para os dados rejeitados, referentes aos 20% complementares do período diurno, foram interpolados assumindo que os valores de LE e H eram iguais a zero, quando o primeiro valor de  $R_n - G$  foi negativo (INMAN-BAMBER & MCGLINCHEY, 2003; MARIN, 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se que, nas primeiras horas após o amanhecer (antes das 8 h), a maior parte da energia disponível ( $R_n - G$ ) era utilizada pelo LE para promover, provavelmente, a evaporação da água existente tanto na superfície do solo quanto no dossel da cultura. A partir deste momento, constatou-se que o H ganha importância, uma vez que a superfície começa a tornar-se mais aquecida. Contudo, verificou-se que a contribuição de H sempre foi inferior a do LE (Figura 2).

Para o período entre 34 e 64 DAC (julho/2007), quando a radiação solar global ainda era baixa, foi possível identificar um fluxo maior de H da superfície para a atmosfera entre às 10 e 12 h, respondendo por  $29 \pm 1\%$  do  $R_n$ . Uma redução mais lenta é evidenciada até o pôr-do-sol (Figura 2A). Como consequência, pode-se verificar que a contribuição do LE, nesse período, torna-se cada vez mais pronunciada quando comparada a do H. O LE apresentou valores maiores durante o período da tarde, comparado aos horários da manhã, logo que o déficit de pressão de vapor (DPV) era elevado, condicionando um aumento da taxa de evapotranspiração.

Como resultados das contribuições de H e LE ao longo do período diurno, os valores de  $\beta$  tornaram-se baixos ao amanhecer, aumentando no período entre as 8 e 12 h da manhã ( $\beta \sim 0,44 \pm 0,03$ ) e, em seguida, reduzindo até o entardecer ( $0,28 \pm 0,07$ ) (Figura 2A). Comportamento similar foi constatado para os demais períodos (Figuras 2B a 2E). Por outro lado, antes e depois do amanhecer e entardecer, foram obtidos valores negativos de  $\beta$ , indicando que a superfície da cultura e, ou, do solo estavam mais frias do que a do ar, de modo que o fluxo de H ocorreu da atmosfera em direção às mesmas. O G tendeu a apresentar valores maiores durante o período da tarde (Figura 2A), mostrando a influência da arquitetura das plantas sobre a quantidade de radiação solar global que atinge a superfície do solo.



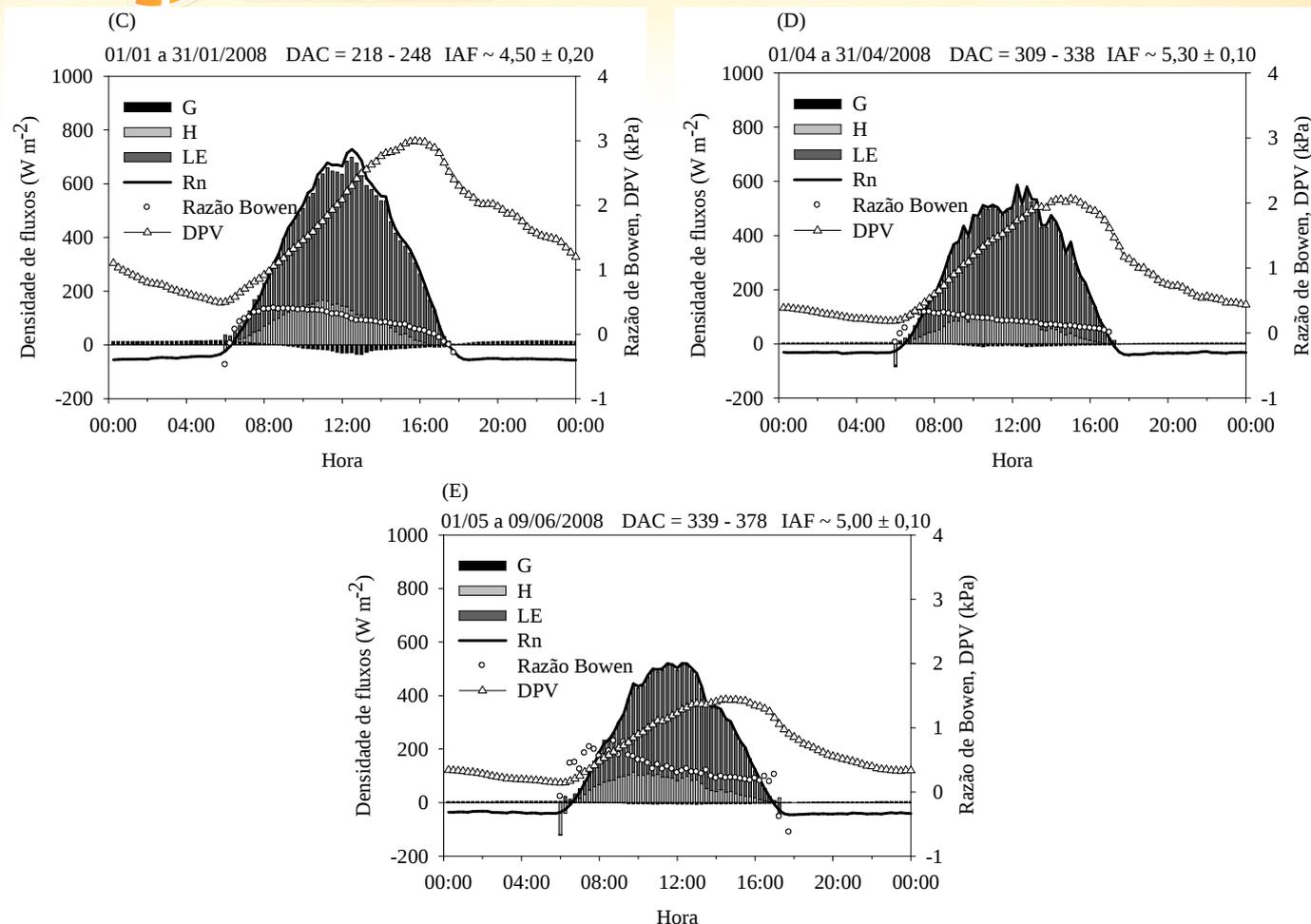


Figura 2. Padrões médios horários da densidade de fluxos dos componentes do balanço de energia para cinco períodos representativos do crescimento da cana-de-açúcar irrigada (variedade RB 92579), no ciclo de cana-soca, sob as condições climáticas do Submédio do Vale do São Francisco.

Analisando-se a variação da relação  $LE/R_n$ , constatou-se que os valores médios de  $LE$  foram de  $65 \pm 1\%$  e de  $72 \pm 5\%$ , respectivamente, para os intervalos entre às 8 e 12 h e às 12 e 16 h. Para o período compreendido entre os 126 e 156 DAC (outubro/2007) (Figura 2B), as magnitudes dos valores de  $H$  mostraram-se maiores durante a manhã. No entanto, a partir das 15 h, os seus valores tornaram-se negativos, indicando que a superfície da cultura encontrava-se mais fria do que o ar, em função do aumento da evapotranspiração da cultura, decorrente da baixa nebulosidade e dos altos valores de radiação solar global e do elevado déficit de pressão de vapor d'água (DPV). Os valores de  $\beta$  tornaram-se maiores durante a manhã (entre 8 e 12 h,  $\beta \sim 0,18$ ) reduzindo acentuadamente durante a tarde. Resultados similares foram verificados por Steduto & Hsiao (1998) para o milho, quando esta cultura apresentava cobertura completa do solo, em que os valores de  $\beta$  foram maiores durante a manhã, mas que reduziram no período da tarde até atingir valores negativos após as 15 h,

como resultado da inversão de H, caracterizando uma superioridade dos valores da temperatura do ar em relação à da superfície da cultura.

O aumento do IAF, associado com a arquitetura das plantas, influenciou para uma menor contribuição de G, resultando em uma maior interceptação de radiação pelo dossel da cultura, que promoveu uma redução dos valores de G, especialmente durante o período da tarde. Esta influência, também esteve associada aos ângulos de declinação solar e azimutal em relação ao local de disposição dos fluxímetros de solo (latitude da área experimental: 9°28'07"S), logo que, durante o mês de outubro o sol estava mais próximo do zênite quando comparado aos demais períodos analisados. Isto se tornou mais evidente ainda nos períodos seguintes: 218 - 248 DAC (janeiro/2008), 309 - 338 DAC (abril/2008) e 339 - 378 DAC (maio-junho/2008) (Figuras 2C a 2E).

Analisando-se a Figura 2C, foi possível verificar, para o período 218 a 248 DAC (janeiro/2008), como já mencionado, um aumento de H, quando comparado com o período anterior, resultante, do tombamento da cana-de-açúcar. Neste período, entre as 10 e 12 h, os valores de H estiveram em torno de  $27 \pm 3\%$ , ao passo que nos horários da tarde foi de  $14 \pm 5\%$ . Por outro lado, os valores médios de LE foram de  $72 \pm 1\%$ , enquanto à tarde foi de  $83 \pm 5\%$ . Estes resultados indicam que uma maior parte da energia disponível ( $R_n - G$ ) pode ter sido utilizada no aquecimento da superfície vegetada, em relação ao período antecedente. O G apresentou maiores valores, especialmente, após o meio-dia, em decorrência da inércia térmica. Entre às 8 e 12 h, o valor médio de  $\beta$  foi, em média, igual a  $0,37 \pm 0,03$ , enquanto nos horários da tarde foi de  $0,18 \pm 0,06$ . Em termos de  $LE/R_n$ , constatou-se que os valores médios oscilaram em torno de  $73 \pm 2\%$  pela manhã, enquanto que à tarde estiveram próximos de  $86 \pm 5\%$ .

No período de 309 a 338 DAC (abril/2008) (Figura 2D), mesmo compreendendo o final da estação chuvosa e a ocorrência de apenas um evento de irrigação no dia 29/04/2007, foi possível verificar que os valores médios diários de  $\beta$  não foram elevados em relação ao período anterior, o que, provavelmente, esteja associada à pequena redução da disponibilidade de água, ao aumento do IAF, à redução da quantidade de energia disponível ( $R_n - G$ ) e ocorrência de valores menores de DPV. Para a manhã, foram obtidos valores médios em torno de  $0,25 \pm 0,04$ , enquanto à tarde foi de  $0,13 \pm 0,04$ . Pela Figura 2D, percebe-se que o DPV máximo, ao longo do dia, foi em torno de 2 kPa. Constatou-se, também, que a  $LE/R_n$  respondeu por  $80 \pm 6\%$  e  $88 \pm 3\%$ , durante a manhã e à tarde, ao passo que o LE foi de  $79 \pm 3\%$  e  $87 \pm 3\%$ , respectivamente.

Contudo, comparando estes resultados com os obtidos no período subsequente (339 - 378 DAC, maio-junho/2008) (Figura 2E), quando ocorreu a suspensão da irrigação, verificou-se que os

valores de LE/Rn foram menores ( $74\pm 6\%$  pela manhã e  $85\pm 3\%$  pela tarde). O fluxo de H aumentou neste período, resultando em elevação dos valores de  $\beta$  tanto no período entre 8 e 12 h (0,49) quanto no período da tarde (0,32).

## CONCLUSÕES

Os padrões horários do balanço de energia acima da cana-de-açúcar RB 92-579 irrigada durante a safra 2007/2008 responderam fortemente às variações de incidência de radiação solar global e às características da superfície como alterações no umedecimento do solo, aumento do índice de área foliar ou evento de tombamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 326p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

GAVILÁN, P.; BERENGENA, E. J. Accuracy of the Bowen ratio-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment. **Irrigation Science**, New York, v. 25, p. 127-140, 2007.

HEILMAN J. L.; BRITTIN, C. L.; NEALE, C. M. U. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 44, p. 261–273, 1989.

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**, Amsterdam, v. 83, p. 125–138, 2003.

MARIN, F. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003. 134 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, 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.

SAN JOSÉ, J.; MONTES, R.; NIKONOVA, N. Seasonal patterns of carbon dioxide, water vapor and energy fluxes in pineapple. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.147, p.16-34, 2007.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C. Maize canopies under two soil water regimes. I. Diurnal patterns of energy balance, carbon dioxide flux, and canopy conductance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 89, p. 169-184, 1998a.

TODD, R. W.; EVETT, S. R.; HOWELL, T. A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 335-348, 2000.

TOLEDO FILHO, M. da R. **Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) no estado de Alagoas**. 2001. 134f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

