

ISSN 0104-1347

## Balanço de energia em cultivo de milho no cerrado

### Energy balance in a corn crop in the Brazilian savanna region

Sylvia Elaine Marques de Farias<sup>1</sup>, Maria Lucia Meirelles<sup>2</sup>, Augusto César Franco<sup>3</sup>, Jorge Luiz Madeira Nogueira<sup>4</sup>, Antonio Fernando Guerra<sup>2</sup> e Antonio Ocimar Manzi<sup>5</sup>

*Resumo* – Foram quantificadas as densidades de fluxo dos componentes do balanço de energia de uma área cultivada com milho irrigado na região do Cerrado (Planaltina, DF). As medições foram realizadas no veranico (período sem precipitação) que ocorre durante a estação chuvosa na região. Foram obtidos os fluxos de radiação líquida ( $R_n$ ), calor sensível do solo ( $G$ ) e os fluxos turbulentos de calor latente ( $LE$ ) e sensível ( $H$ ) empregando-se o Método de Correlação dos Turbilhões. O uso deste método apresentou robustez nas condições utilizadas já que o valor da soma das densidades dos fluxos de  $LE$  e  $H$  correspondeu em média a 90% do valor da energia disponível ( $R_n - G$ ). Os resultados mostraram que em média 76% de  $R_n$  foi particionada para  $LE$ , 6% para  $H$  e 8% para  $G$ . A evapotranspiração diária variou de 9,3 mm a 12,9 mm para um índice de área foliar de 4,5 em um período de alta demanda evaporativa nesta região.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., correlação dos turbilhões, evapotranspiração, savana, Brasil.

**Abstract** - Flux densities of the energy balance components were measured over an irrigated corn crop in the Cerrado (Brazilian savanna region) in Planaltina (DF). The measurements were conducted in the 'veranico' (a period of non-rainy days) during the wet season. Net radiation ( $R_n$ ) and soil sensible heat ( $G$ ) fluxes were measured and the turbulent fluxes of latent ( $LE$ ) and sensible heat ( $H$ ) were calculated by the Eddy Correlation Method. This method presented robustness in the conditions whereas the sum of  $LE$  and  $H$  was in the order of 90% of the available energy ( $R_n - G$ ). The results showed that on average 76% of  $R_n$  was partitioned into  $LE$ , 6% into  $H$  and 8% into  $G$ . The daily evapotranspiration was from 9.3 to 12.9 mm for a leaf area index of 4.5, as a result of the high evaporative demand of the atmosphere in this region.

**Key words:** *Zea mays* L., eddy correlation, evapotranspiration, savanna, Brazil.

#### Introdução

O Cerrado é considerado a savana tropical mais diversa do mundo, é o segundo bioma em extensão no Brasil, representando 22% do território nacional. Estima-se que, dos 200 milhões de hectares de Cerrado, tem-se 12 milhões em culturas anuais

(ALHO & MARTINS, 1995) e 49 milhões em pastagens plantadas (SANO *et al.*, 2000), mas a área total desmatada é superior a da Floresta Amazônica e quase equivalente à da Mata Atlântica (KLINK & MOREIRA, 2000). A região do Cerrado encontra-se nos trópicos, apresenta temperatura mensal média superior a 18°C e precipitação anual que varia de 600

<sup>1</sup>Doutoranda em meteorologia. INPE. Caixa postal 515, CEP 12201-970. São José dos Campos, SP. [sylvia@cptec.inpe.br](mailto:sylvia@cptec.inpe.br).

<sup>2</sup>Pesquisador Ph.D. Embrapa Cerrados. Caixa Postal 08223, CEP 73301-970, Planaltina, DF. [lucia@cpac.embrapa.br](mailto:lucia@cpac.embrapa.br); [guerra@cpac.embrapa.br](mailto:guerra@cpac.embrapa.br).

<sup>3</sup>Professor Ph.D. Departamento de Botânica, Unb. Caixa postal 04457, CEP 70919-970. Brasília, DF. [acfranco@unb.br](mailto:acfranco@unb.br).

<sup>4</sup>Engenheiro Eletrônico. CPTEC/INPE. Caixa postal 01, CEP 12630-970. Cachoeira Paulista, SP. [noqueira@cptec.inpe.br](mailto:noqueira@cptec.inpe.br).

<sup>5</sup>Pesquisador, Ph.D. CPTEC/INPE. [manzi@cptec.inpe.br](mailto:manzi@cptec.inpe.br).

a 2200 mm, 90% ocorrendo nos meses de outubro a abril (estação chuvosa). O total da precipitação, na estação chuvosa, como também a adequada distribuição das chuvas, durante as fases de desenvolvimento das plantas, é fundamental para a produtividade das culturas anuais na região central do Cerrado.

Na estação chuvosa do Cerrado, é observada a ocorrência de períodos sem precipitação, com forte demanda evaporativa, conhecida na região como “veranicos” ou “pequenos verões”. Estima-se que os efeitos do veranico reduzam de 40 a 60% o rendimento da cultura de milho não irrigado no Cerrado (ESPINOZA *et al.*, 1980). O milho é uma cultura de destaque no Cerrado e a crescente expansão da irrigação na região é reconhecida pelos produtores como uma alternativa viável à elevação de sua produção. A avaliação da quantidade de água necessária às fases de desenvolvimento do milho, durante o veranico é importante tendo em vista as limitações que o veranico ocasiona em sua produtividade.

O balanço de energia, baseado no princípio físico da conservação da energia, relaciona as densidades dos fluxos de energia disponível na vegetação (radiação líquida) com a energia utilizada, principalmente o calor latente na evaporação e o calor sensível nas variações de temperatura do ar e do solo (PEREIRA *et al.*, 2002). Métodos micrometeorológicos quantificam estes fluxos e permitem avaliar as transformações da energia radiante em calor latente e sensível, representando assim, a contabilidade destas interações. A radiação líquida pode ser considerada como um dos elementos meteorológicos principais no controle da evapotranspiração, mesmo sob condições áridas em que por advecção, uma quantidade de calor sensível do ar pode ser convertida em calor latente (ROSENBERG *et al.*, 1983). O conhecimento da demanda atmosférica, para o fluxo de calor latente, fornece subsídios necessários ao planejamento pelo uso racional da água na irrigação.

Este trabalho teve como objetivo quantificar e avaliar os fluxos dos componentes do balanço de energia, com ênfase na evapotranspiração, de uma cobertura de milho na fase de maturação durante o período do veranico na região central do Cerrado (Planaltina, DF).

## Material e métodos

A área experimental encontrava-se na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, lat. 15°35'30", long. 47°42'30", altitude de 1007 m, clima tipo Aw, segundo a classificação de Köppen e precipitação média anual de 1460 mm. Corresponhia a um plantio de milho (*Zea mays*), variedade BR106GX3, em 8 ha irrigado por equipamento de aspersão do tipo pivô central sobre latossolo vermelho-escuro argiloso. A disposição das plantas era de 5 plantas/m<sup>2</sup> com, aproximadamente, 1 metro entre fileiras. Para evitar o déficit hídrico das plantas, a cultura era irrigada quando a tensão de água no solo superava 45 kPa. O plantio do milho foi efetuado em 10 de novembro de 2000. A coleta de dados foi realizada de 22 de janeiro a 02 de fevereiro de 2001, quando a cultura de milho se encontrava em fase de formação e enchimento de grãos (entre 63 e 83 dias após o plantio) e com uma altura média de 2,5m. Nesta época, ocorreu um veranico que é um período sem precipitação, durante a época das chuvas no Cerrado, que foi um evento prejudicial ao desenvolvimento das culturas na região que não se encontraram sobre irrigação.

Foram instaladas, na área experimental uma Estação Micrometeorológica Automática (EMA) e uma Estação de Correlação dos Turbilhões (ECT), para a obtenção dos fluxos turbulentos. Os mastros das estações distavam entre si cerca de 1,7 m. Os sensores foram instalados a 4 m acima do solo, as estações eram alimentadas por energia elétrica disponível na área.

A EMA possuía os seguintes sensores com os respectivos modelos e marcas: velocidade (014A – Met One) e direção do vento (024A – Met One); radiação líquida (Q7 – REBS); radiação global (LI 200X – LiCor); temperatura e umidade do ar (HMP35C – Vaisala); fluxo de calor do solo (HFT3 – REBS); temperatura (107 – Campbell) e umidade do solo (CS615 - Campbell). Estes sensores estavam acoplados a um sistema de aquisição de dados (Micrologger 21X, Campbell) que continha o software de gerenciamento, e foram coletados dados a cada minuto e armazenadas as médias de 30 minutos. Os dados armazenados eram recolhidos, semanalmente, por meio de um módulo de armazenagem (SM192 - Campbell). Foram também obtidos, no período de estudo, os dados da Estação Meteorológica Principal da Embrapa Cerrados, localizada cerca de 500 metros da área experimental.

A ECT possuía um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3 - Campbell) que media as flutuações da velocidade do vento nas três direções e temperatura do ar e um higrômetro Krypton (KH20 - Campbell) medindo a densidade do vapor d'água. Os aparelhos estavam acoplados a um datalogger (CR10 - Campbell) que gerenciava a obtenção dos dados em uma frequência de 16 Hz. Os dados obtidos eram enviados a um notebook e armazenados em arquivos de 30 minutos.

Foram obtidas as densidades dos fluxos dos componentes do Balanço de Energia na superfície assim considerado (ARYA, 2001):

$$R_n = LE + H + G \quad (1)$$

em que  $R_n$  é a radiação líquida; LE, o fluxo de calor latente; H o, fluxo de calor sensível no ar e G, o fluxo de calor no solo.

Os valores de  $R_n$  e G foram obtidos a partir de medições diretas realizadas pela EMA.  $R_n$  foi obtida pelo radiômetro líquido com os valores corrigidos em relação à velocidade do vento. O calor sensível do solo foi calculado a partir da média das duas placas de solos colocadas a 8cm de profundidade acrescido da energia armazenada no solo (S) obtida por (OKE, 1987):

$$S = C_v \left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right) dZ \quad (2)$$

sendo  $C_v$  a capacidade calorífica do solo úmido e  $\Delta T/\Delta t$  a variação média de temperatura do solo cujo sensor estava instalado a 5 cm de profundidade. Foram utilizados os valores de umidade do solo obtidos a 6 cm de profundidade para o cálculo de  $C_v$ .

Na ECT, foram obtidos os dados para os cálculos dos fluxos turbulentos de calor latente (LE) que originou os valores de evapotranspiração (ET) e de calor sensível do ar (H) pelo Método de Correlação dos Turbilhões. Este método foi proposto por SWINBANK (1951) sendo geralmente denominado 'eddy correlation' ou 'eddy covariance' e é indicado para a avaliação e quantificação dos fluxos turbulentos em superfícies e usado para estudos em períodos longos e possibilitam medidas diretas dos fluxos sobre a vegetação. Os instrumentos devem ser de resposta rápida com os dados tomados a partir de 1 Hz, dependendo das características da superfície (MONTEITH & UNSWORTH, 1990).

Os fluxos de LE e H foram considerados positivos, quando a concentração de vapor de água

(para LE) e temperatura (para H) diminuíram com a altura e negativos na direção inversa. H e LE foram obtidos pela média do produto das flutuações da velocidade vertical do vento com a temperatura e a concentração do vapor de água. Foram utilizadas as seguintes equações (OKE, 1987):

$$H = Ca \overline{wT'} \quad (3)$$

$$LE = Lv \overline{w'q'} \quad (4)$$

nos quais  $Ca$ , a capacidade calorífica do ar;  $w'$ , o desvio da média para a velocidade vertical do vento;  $T'$ , o desvio da temperatura sônica;  $L_v$ , o calor latente de evaporação e  $q'$ , o desvio da densidade de vapor de água.

## Resultados e discussão

O índice de área foliar (IAF) médio, durante o período de estudo, foi de 4,5  $m^2 m^{-2}$ . O peso seco das folhas representava 19,4% do peso das folhas verdes.

Foram obtidos os seguintes valores da Estação Meteorológica Principal da Embrapa Cerrados, durante o período do experimento, em janeiro de 2001: umidade relativa média do ar variando entre 74% (dias 28 e 30) a 94% (dia 22); temperatura média das máximas do ar de 23,6°C (dia 28) a 20,3°C (dia 22); velocidade média do vento de 0,96  $m s^{-1}$  (dia 24) a 1,87  $m s^{-1}$  (dia 30); evaporação do tanque Classe A variando de um mínimo de 1,20 mm (dia 22) e um máximo de 5,21 mm (dia 27); brilho solar máximo de 11,2 h (dia 27) e mínimo de 1,4 h (dia 22); períodos de horas de brilho solar de 9,6 (dia 28), 10,4 (dia 30) e 8,2 (dia 31).

As relações entre os fluxos dos componentes do balanço de energia (LE, H e G) e a radiação líquida ( $R_n$ ), durante quatro dias, com diferentes graus de nebulosidades no período do veranico encontram-se na Tabela 1. Observa-se que a maior parte de  $R_n$  foi utilizada na evapotranspiração da cultura, encontrando-se percentuais entre 70% (dia 31) a 79% (dia 28) para LE, 4,7% a 9,4% para H e 5,6% a 11,7% para G. As médias para os quatro dias foram de 76% (LE), 6% (H) e 8% (G). Para o período da seca no Cerrado, em uma cultura de trigo irrigado próxima ao campo experimental na qual, foi

**Tabela 1.** Relações (%) entre as densidades dos fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H), calor do solo (G) e a radiação líquida (Rn) em um plantio de milho (Planaltina, DF) durante 4 dias de veranico (janeiro de 2001).

Dias Julianos	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
27	78,75	4,72	6,34
28	79,01	5,60	8,13
30	76,18	4,20	5,61
31	69,73	9,42	11,79

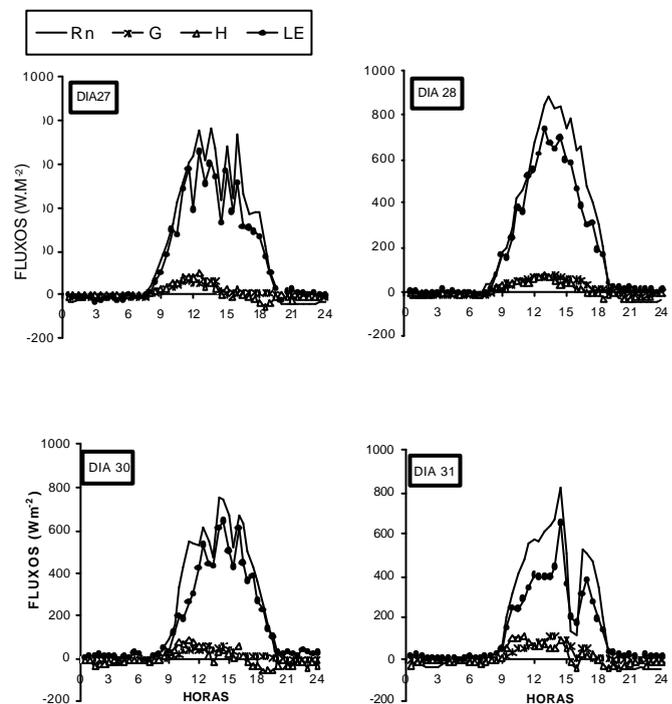
desenvolvido este experimento em milho, LUCHIARI *et al.* (1997), utilizando o método de Balanço de Energia - Razão de Bowen, encontraram valores de 80% (LE), 13% (H) e 7% (G). Outros autores já haviam quantificado a partição de energia dos componentes do balanço de energia em relação à Rn, em plantios de milho no Brasil. ALFONSI *et al.*, (1986) em Campinas (SP) sobre Latossolo Roxo textura argilosa, utilizando o método de Balanço de Energia - Razão de Bowen, encontraram valores da ordem de 84% (LE), 2% (H) e 14% (G). CUNHA *et al.* (1996), em Taquari (RS) sobre solo laterítico bruno-vermelho distrófico, utilizando o método de Balanço de Energia - Razão de Bowen, encontraram valores da ordem de 80% (LE), 14% (H) e 6% (G). MATZENAUER *et al.* (1982), também em Taquari (RS), com experimento em lisímetro de pesagem, no subperíodo pendente-espigamento encontraram valores médios de 0,94 (LE). Comparando-se os resultados aqui obtidos pelo método de correlação de vórtices com os obtidos por outros autores pelos métodos de Balanço de Energia - Razão de Bowen e lisímetro, verifica-se serem estes compatíveis.

Constam, na Figura 1, os fluxos horários dos componentes do balanço de energia sobre a cobertura de milho estudada em quatro dias do veranico. Os dias 28 e 31 de janeiro apresentaram as variações mais contrastantes em suas curvas de Rn. O dia 28 apresentou menor nebulosidade no transcorrer do período diurno, enquanto o dia 31 teve alta nebulosidade, principalmente, no período da tarde. O tanque Classe A registrou uma evaporação de 4,53 mm/dia (dia 28) e de 3,61 mm/dia (dia 31). O dia 28 apresentou as maiores densidades de fluxos quando os totais diurnos (entre 8h e 19h) foram de 11.247 Wm<sup>-2</sup> (Rn) e 8.886 Wm<sup>-2</sup> (LE). Os valores máximos neste dia, ocorreram às 13h30min horas para Rn (878 Wm<sup>-2</sup>) e às 13h00min horas para LE (737 Wm<sup>-2</sup>). Para

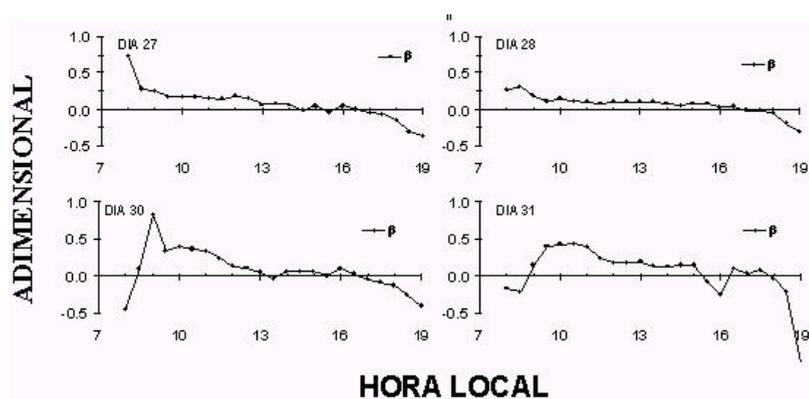
este dia, a fração Rn/RT foi de 0,71. O dia 31 apresentou os menores totais diurnos para RT (12.208 Wm<sup>-2</sup>), Rn acumulada (8.784 Wm<sup>-2</sup>) e LE (6.125 Wm<sup>-2</sup>) e a fração de energia Rn/RT foi de 0,72.

Os valores diários de ETs obtidas foram de 11,6 mm (27/11), 12,9 mm (28/11), 11,2 mm (30/01) e 9,3 mm (31/11). Estas ETs foram mais altas que as obtidas por CUNHA *et al.* (1996), em plantio de milho, em Taquari (RS), com IAF de 2,7 e que obteve, no período de maturação, uma ET de 6,67 mm em dia de sol e sem déficit hídrico. As ETs em plantios de milho, na região temperada também são menores que a obtida na região do Cerrado. JARA *et al.* (1998) obtiveram para um plantio de milho em Washington (USA), com um IAF próximo a 5, uma ET média de 4,2 mm e KJELGAARD *et al.* (1994), nas mesmas condições, obteve uma ET de 4,7 mm.

Observam-se, na Figura 2, os valores horários obtidos de Razão de Bowen ( $\beta$ ) que corresponde à razão entre os fluxos de calor sensível e latente no ar (BOWEN, 1926). Os valores de  $\beta$



**Figura 1.** Fluxos horários dos componentes do balanço de energia, radiação líquida (Rn), calor no solo (G), calor latente (LE) e calor sensível (H) em um plantio de milho irrigado na região dos Cerrados (Planaltina, DF) em quatro dias de veranico (janeiro 2001).



**Figura 2.** Valores horários diurnos da razão de Bowen ( $\beta$ ) em quatro dias de veranico (janeiro de 2001) em um plantio de milho irrigado (Planaltina, DF).

decreceram durante o dia e no início da manhã e final da tarde,  $\beta$  é negativo porque a temperatura da superfície foi menor que a atmosférica, situação também observada por CUNHA *et al.* (1996) em cultivo de milho. Pelas curvas caracterizadas para cada dia e os baixos valores de  $\beta$ , verifica-se que a maior parte da energia recebida no sistema foi utilizada na evapotranspiração indicando que o solo estava em condições de umidade adequadas para suprir a demanda hídrica e a atmosfera apresentava condições de forte demanda evaporativa.

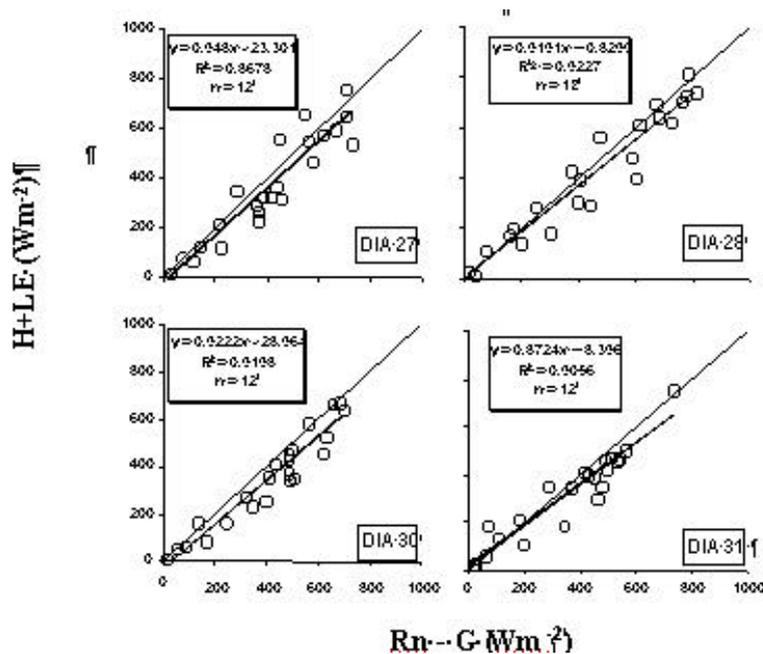
O dia 31/01 foi atípico entre os demais. Apresentou os menores fluxos (Figura 1), no entanto, com relação à partição de energia para o aquecimento do solo (Tabela 1), apresentou o maior valor (12%). Observa-se um acréscimo de  $\beta$  no início da manhã e um decréscimo entre 12 e 15 h tornando-se negativa a partir das 16h e voltando a aumentar pouco mais que a unidade após às 17 h. Especificamente, entre 15h30min e 16h, o valor negativo de  $\beta$  pode indicar uma transferência do ar mais quente da vizinhança para a superfície mais fria do plantio de milho irrigado, e H passou a ser negativo (Figura 1). Este fenômeno, conhecido como efeito oásis, é ocasionado pela advecção (transporte horizontal) do ar circunvizinho mais seco e quente, cuja fonte de calor sensível transportado é usado na evapotranspiração (ROSENBERG *et al.*, 1983). Observa-se também (Figura 1) que os valores do saldo de radiação ( $R_n$ ) foram superiores aos do calor latente (LE), salvo entre às 15h30min e 16h30min do dia 31/01 quando  $R_n$  foi menor que LE devido ao efeito oásis. A velocidade do vento foi de  $3,6 \text{ m s}^{-1}$  as 15h30min e de aproximadamente  $1 \text{ m s}^{-1}$  na meia hora anterior e  $0,9$

$\text{m s}^{-1}$ , na meia hora posterior. A variação da direção do vento, ficou entre  $45^\circ$  Nordeste e  $135^\circ$  Sudeste. CUNHA *et al.* (1996) observaram o efeito oásis em situação semelhante entre 12h e 12h30 em que o pico de velocidade do vento foi superior a  $2 \text{ m s}^{-1}$ , com o aumento do déficit de saturação de vapor d'água na atmosfera e com valores negativos de  $\beta$ , neste momento.

O método micrometeorológico de Correlação dos Turbilhões quantifica os fluxos verticais por convecção entre a vegetação e a atmosfera de gases transportados por turbulências tais como  $\text{CO}_2$  e vapor de água. No Brasil, o método já foi

utilizado em diferentes dosséis, tais como, floresta pluvial amazônica (GRACE *et al.*, 1996), Cerrado (MIRANDA *et al.*, 1996) e plantio de cana-de-açúcar (ROCHA, 1998). Uma maneira de se atestar a qualidade das densidades dos fluxos obtidas pelo Método de Correlação de Turbilhões é verificando-se a proximidade do fechamento da equação do balanço de energia com os valores das densidades dos fluxos obtidas pelo método (AUBINET *et al.*, 2000). Verifica-se que, no plantio de milho não ocorreu um total fechamento do balanço de energia com  $R_n$  um pouco maior que o somatório de H, LE e G (Tabela 1). Para completá-la, seria necessário um adicional de 10%, 7%, 14% e 9%, respectivamente, para os dias 27, 28, 30 e 31 de janeiro de 2001. Estas diferenças são aceitáveis já que WILSON *et al.* (2002), para dados obtidos pelo Método de Correlação de Turbilhões, em 22 áreas distintas, observaram a necessidade de um adicional médio de 20% para o fechamento do balanço de energia. O não-fechamento total do balanço de energia se deve a que não está sendo considerada a energia armazenada nas plantas e biomassa, as quantificações de radiação e calor armazenado estarão sendo alterados por propriedades do sítio como distância da borda, rugosidade e efeitos de meso-escala e também devido à ocorrência de outros fluxos turbulentos não verticais como a advecção (Ibrom *et al.*, Citado por AUBINET *et al.* (2000).

A relação entre o somatório dos fluxos turbulentos ( $H + LE$ ) e a energia disponível ( $R_n - G$ ) demonstra o contraste termodinâmico entre a vegetação e o ar próximo à superfície (Figura 3). Os coeficientes de correlação ( $r^2$ ) foram determinados e o



**Figura 3.** Correlação linear entre a soma dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) e a energia disponível correspondente à radiação líquida (Rn) menos calor do solo (G) em um plantio de milho irrigado (Planaltina, DF) durante quatro dias de verão (janeiro de 2001). (n) representa o número de dados correspondentes às horas no período diurno (8 às 19 h). A linha em negrito corresponde ao ajuste linear. A linha clara corresponde ao 1:1.

menor, 0,87, para o dia 27/01 e o maior, 0,92, para o dia 28/01. BALDOCHI (1994), para plantio de milho em Boardman (OR, USA), encontrou valores de  $r^2$  próximos a 0,94 e AUBINET *et al.* (2000), valores, variando entre 0,84 e 0,93, para diferentes coberturas vegetais. Observa-se que, para todos os dias considerados, os fluxos turbulentos foram menores que os valores da energia disponível. Fluxos de, até  $200 \text{ Wm}^{-2}$ , mantiveram um  $r^2$  próximo a 1 (dias 28 e 31/01), situação semelhante também observada por BALDOCHI (1994) e AUBINET *et al.* (2000). Os resultados encontrados para o experimento com milho, de certa forma, estão bem relacionados com os encontrados na literatura.

### Conclusões

Um plantio de milho, na região do Cerrado (Planaltina, DF), no verão, em dias sem chuva, irrigado, na fase de espigamento com IAF de 4,5, apresenta partição da radiação líquida, em 76%, para o fluxo de calor latente, 6 %, para o fluxo de calor sensível, na atmosfera e 8%, para o fluxo de calor

no solo com taxas de evapotranspiração entre 9,3 a 12,9 mm.

### Agradecimentos

Aos técnicos da Embrapa Cerrados, João Batista dos Santos, Lúcio Feitoza, Nelson de Oliveira Pais e Valdecir de Matos Lima pelo auxílio nas diferentes etapas de trabalho de campo. Pelo auxílio financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do Programa Centro Oeste de Pesquisa e Pós Graduação.

### Referências bibliográficas

ALFONSI, R.R. *et al.* Balanço de energia em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 12, p. 1233-1235, 1986.

ALHO, C.J.R.; MARTINS, E.S. **De grão em grão, o Cerrado perde espaço**. Brasília: WWF-Fundo Mundial para a Natureza, 1995. 63 p.

ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. 2º ed. San Diego: Academic Press, 2001. 420p.

AUBINET, M. *et al.* Estimates of the annual net carbon and water exchange of forest: the EUROFLUX methodology. **Advances in Ecological Research**, London, v.30, p. 113-175, 2000.

BALDOCHI, D. A comparative study of mass and energy exchange over a closed  $C_3$  (wheat) and an open  $C_4$  (corn) canopy: I. The partitioning of available energy into latent and sensible heat exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 67, n. 3-4, p. 191-220, 1994.

BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, New York, n. 6, v. 27, p. 779-787, 1926.

CUNHA, G.R. *et al.* Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-14, 1996.

ESPINOZA, W.; AZEVEDO, J.; ROCHA, L.A. Densidade de plantio e irrigação suplementar na resposta de três variedades de milho ao déficit hídrico

- na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 85-95, 1980.
- GRACE, J. *et al.* Carbon dioxide flux over Amazon rainforest in Rondônia. In: GASH, J.C.H. *et al.*, **Amazon deforestation and climate**. Nova York: John, 1996. p. 307-318.
- JARA, J.; STOCKLE, C.O.; KJELGAARD, J. Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mays* L.) field. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 92, n. 2, p. 131-145, 1998.
- KJELGAARD, J.K. *et al.* Evaluating methods to estimate corn evaporation from short-time internal weather data. **Transactions of the ASAE**, v. 37, n. 6, p. 1825-1833, 1994
- KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. Valoração do potencial do Cerrado em estocar carbono atmosférico. In: MOREIRA, A.G.; SCHWARTZMAN, S. eds.. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2000. p. 82-88.
- LUCHIARI JUNIOR, A.; RIHA, S.J.; GOMIDE, R.L. Energy balance in irrigated wheat in the Cerrados region of central Brazil. **Sciencia Agricola**, Piracicaba, v. 54, número especial, p. 78-88, 1997.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho, radiação global e saldo de radiação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 7, p. 1051-1056, 1982.
- MIRANDA, A.C. *et al.* Carbon dioxide fluxes over a Cerrado sensu stricto in central Brazil. In: GASH, J.C.H. *et al.*, eds. **Amazon deforestation and climate**, New York: John Wiley and Sons, 1996. p. 353-364.
- MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. London: Edward Arnold, 1990. 291 p.
- OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2. ed., London: Routledge, 1987, 435 p.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- ROCHA, H.R. **Observações e modelagem das relações biosfera-atmosfera no sudeste**. São Paulo: USP, 1998. 142 p. Tese (Doutorado), Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 1998.
- ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate: the biological environment**. 2<sup>o</sup>, ed. Boston: Awiley- Interscience, 1983. 495p.
- SANO, E.E.; BARCELLOS, A.O.; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 22, n. 3, p. 2-15, 2000.
- SWINBANK, W.C. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. **Journal of Meteorology**, v. 8, n. 3, p. 135-145, 1951.
- WILSON, K. *et al.* Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 113, n. 1-4, p. 223-243, 2002.