

Evapotranspiração em Plantio de Milho no Cerrado





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Julho, 2003

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 84

Evapotranspiração em Plantio de Milho no Cerrado

Maria Lucia Meirelles
Sylvia Elaine Marques de Farias
Antonio Fernando Guerra
Augusto César Franco

Planaltina, DF
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial: *Jaime Arbués Carneiro*

Revisão de texto: *Jaime Arbués Carneiro*

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

1ª edição

1ª impressão (2003): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Cerrados.

E92 Evapotranspiração em plantio de milho no Cerrado / Maria Lucia Meirelles [et al.] ... - Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2003.

17 p. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 84)

1. Milho - Cerrado. 2. Evapotranspiração. I. Meirelles, Maria Lucia. II. Série.

633.15- CDD 21

© Embrapa 2003

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	11
Conclusão	15
Agradecimentos	15
Referências Bibliográficas	15

Evapotranspiração em Plantio de Milho no Cerrado

Maria Lucia Meirelles¹

Sylvia Elaine Marques de Farias ²

Antonio Fernando Guerra³

Augusto César Franco⁴

Resumo – O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de destaque no Cerrado e a disponibilidade de água é considerada um fator ambiental determinante na produtividade dessa cultura. Este trabalho teve como objetivo fornecer as taxas de evapotranspiração, relacionando-as com fatores ambientais em dias sem precipitação durante a estação chuvosa, de um plantio de milho irrigado localizado, em Planaltina-DF, na latitude 15°35' e altitude de 1007 m. A cultura apresentava no estágio de maturação com índice de área foliar de 4,5. Foram quantificadas as densidades dos fluxos dos principais componentes do balanço de energia: saldo de radiação (R_n), calor sensível do solo (G) e os fluxos turbulentos de calor sensível (H) e latente (LE). R_n e G foram medidas por aparelhos específicos e LE e H foram obtidas pelo Método de Correlação dos Turbilhões. Em média, 76% de R_n foram utilizados para LE ; 6%, para H ; e, 8%, para G . Esse plantio de milho, que se encontrava em condições atmosféricas de alta demanda evaporativa, apresentou taxas de evapotranspiração diárias entre 9,3 e 12,9 mm.

Termos para indexação: *Zea mays* L., evapotranspiração, método de correlação dos turbilhões, Cerrado.

¹ Biol., Ph.D., Embrapa Cerrados, lucia@cpac.embrapa.br

² Meteorologista, Doutoranda em meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, sylvia@cptec.inpe.br

³ Eng., Agríc., Ph.D., Embrapa Cerrados, guerra@cpac.embrapa.br

⁴ Professor, Universidade de Brasília, Departamento de Botânica, acfranco@unb.br

Evapotranspiration in Corn Crown in the Brazilian Savanna Region

Abstract – Corn (*Zea mays* L.) is a significant crop in the 'Cerrado' (Brazilian savanna) and water availability is a decisive environmental factor to its productivity. The objective of this work was to obtain evapotranspiration data and related them to day spells during the rainy on irrigated experiment in Planaltina-DF (lat. 15°35', 1007 m). The crop had a leaf area index of 4.5. Flux densities of the principal energy balance components were measured: net radiation (R_n), soil sensible heat (G) and the turbulent fluxes of latent (LE) and sensible heat (H). Specific equipments measured R_n and G and H and LE were calculated by the Eddy Correlation Method. In average 76% of R_n was partitioned for LE , 6% for H and 8% for G . The growing conditions were of daily evapotranspiration was from 9.3 to 12.9 mm in a high atmospheric evaporative demand.

Index terms: *Zea mays* L., evapotranspiration, eddy correlation method, savanna, Brazil.

Introdução

O Cerrado é considerado a savana tropical mais diversa do mundo sendo o segundo bioma em extensão no Brasil representando 22% do território nacional. Estima-se que dos 200 milhões de hectares do Cerrado, tem-se aproximadamente 10 milhões de hectares em culturas anuais ([ALHO & MARTINS, 1995](#)).

O cultivo do milho é encontrado nos mais diversos ambientes, desde latitude de 40°S até 58°N e em altitudes que variam desde 3000 m até abaixo do nível do mar ([VIEIRA, 1999](#)). O milho é uma cultura de destaque no Cerrado e a irrigação é reconhecida como uma alternativa para a elevação de sua produção sendo que grande parte das áreas de milho irrigado no Cerrado por pivô-central tem sido ocupada para a produção de sementes de milho ([SOUZA, 1999](#)). A disponibilidade de água é o fator ambiental de maior efeito sobre a produtividade da cultura do milho. Uma leve deficiência hídrica em determinados períodos é suficiente para afetar processos essenciais ao seu desenvolvimento ([PIMENTEL & ROSSIELLO, 1995](#)). A estação chuvosa do Cerrado apresenta a ocorrência de veranicos (períodos sem chuvas de duas ou mais semanas). Estima-se que os efeitos do veranico reduzem de 40 a 60% o rendimento da cultura de milho não irrigado ([ESPINOZA et al., 1980](#)). A avaliação da quantidade de água necessária aos estádios de desenvolvimento do milho durante o veranico é importante tendo em vista as limitações que esse período ocasiona em sua produtividade.

O balanço de energia, baseado no princípio físico da conservação de energia, relaciona as densidades dos fluxos de energia disponível ao nível da vegetação (saldo de radiação) com a energia utilizada principalmente como calor latente na evapotranspiração e calor sensível nas variações de temperatura do ar e do solo ([PEREIRA et al., 2002](#)). Métodos micrometeorológicos quantificam esses fluxos e permitem avaliar as transformações da energia radiante disponível em calor latente e sensível representando assim a contabilidade dessas interações. Os componentes do balanço de energia e variáveis meteorológicas responsáveis pela demanda evaporativa da atmosfera são fatores determinantes da taxa de evapotranspiração de uma cultura. O conhecimento do efeito da demanda atmosférica no fluxo de calor latente fornece subsídios necessários ao uso racional da água na irrigação. Inclusive, em áreas irrigadas, pode ocorrer um processo, denominado de efeito oásis, onde o transporte horizontal (advecção)

de certa quantidade de calor sensível de áreas áridas circunvizinhas é convertido em calor latente aumentando assim a evapotranspiração da cultura irrigada ([ROSENBERG et al., 1983](#)).

Neste trabalho foram quantificadas e avaliadas variáveis climáticas e as densidades dos fluxos dos componentes do balanço de energia de uma cultura de milho no Cerrado. Teve-se como objetivo relacionar a evapotranspiração com certos fatores ambientais determinantes em uma cobertura de milho no estágio de maturação durante o período do veranico na Região Central do Cerrado (Planaltina, DF).

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em uma área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, latitude 15°35'30", longitude 47°42'30", altitude de 1007 m, clima tipo AW segundo a classificação de Köppen e precipitação média anual de 1460 mm. A área de 8 ha, com solo do tipo LATOSSOLO VERMELHO textura argilosa, irrigada por pivô-central, estava plantada com milho (*Zea mays*), variedade BR106GX3. Essa variedade apresenta polinização aberta, de grãos dentados, endosperma amarelo, ciclo precoce e ampla utilização comercial. A disposição das plantas foi de 5 plantas por m² com aproximadamente 1 metro entre fileiras. A cultura de milho encontrava-se em fase de maturação (entre 63 e 83 dias depois do plantio) e com uma altura média de 2,5 metros. Para evitar o déficit hídrico das plantas a cultura era irrigada quando a tensão de água no solo baixava de 45 kPa. Tratos culturais convencionais foram utilizados com o objetivo de suprir as necessidades da cultura durante seu desenvolvimento. O plantio do milho foi efetuado em 10 de novembro de 2000. A coleta de dados foi realizada de 22 a 31 de janeiro de 2001 durante o veranico. Na [Tabela 1](#) apresentam-se os dados meteorológicos do período de estudo obtidos na Estação Meteorológica Principal da Embrapa Cerrados distante cerca de 500 metros da área experimental.

O índice de área foliar (IAF) foi obtido por meio do corte raso das plantas presentes em 1 m², em cinco repetições, e posterior medição da área foliar verde em planímetro de mesa. O material vegetal verde ou seco foi separado e pesado depois da secagem para obtenção da biomassa viva ou da morta.

Tabela 1. Valores da Estação Meteorológica Principal da Embrapa Cerrados obtidos para o período de estudo (22 a 31 de janeiro de 2001).

Dia	Média da umidade relativa do ar (%)	Média da temperatura do ar (°C)	Precipitação total (mm)	Média da velocidade horizontal do vento (m s ⁻¹)	Evaporação total do tanque classe A (mm)	Período de brilho solar (h)
22	94	20,5	8,1	1,03	1,20	1,4
23	93	20,3	31,3	1,71	2,20	3,2
24	88	21,7	0,2	0,96	3,51	5,0
25	91	21,5	6,2	1,34	2,96	5,2
26	79	23,0	0,1	1,45	4,66	10,5
27	75	23,0	0	1,31	5,21	11,2
28	74	23,6	0	1,23	4,53	9,6
29	81	22,1	7,0	1,42	3,52	10,0
30	74	23,5	0	1,87	4,38	10,4
31	83	22,7	0	1,68	3,61	8,2

Foram colocados no centro da área experimental dois mastros (modelo CM6 – marca Campbell), um onde foi instalado uma Estação Meteorológica Automática (EMA) e outro com o Sistema de Correlação dos Turbilhões (SCT) para a obtenção dos fluxos turbulentos. Os mastros distavam entre si cerca de 2 metros e os sensores foram instalados a 4 metros acima do solo sendo alimentados por energia elétrica disponível na área. A distância a ser percorrida pelo vento na direção predominante, desde a borda do plantio até os mastros, era superior a 400 metros, obedecendo assim a relação recomendada de pelo menos 100 metros de distância da borda para cada 1 metro de altura dos instrumentos [\(OKE, 1987\)](#).

A EMA possuía os seguintes sensores com os respectivos modelos e marcas: velocidade (O14A – Met One) e direção do vento (O24A – Met One); saldo de radiação (Q7 – REBS); radiação global (LI 200X – LiCor); temperatura e umidade do ar (HMP35C – Vaisala); calor do solo (HFT3 – REBS); temperatura (107 – Campbell) e umidade do solo (CS615 - Campbell). Esses sensores estavam acoplados a um sistema de aquisição de dados (Micrologger 21X, Campbell) que continha o software de gerenciamento sendo coletado 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).

A SCT possuía um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3 - Campbell) que media as flutuações da velocidade do vento nas três direções e a temperatura do ar e um higrômetro Krypton (KH20 - Campbell) medindo a densidade do vapor d'água no ar. Os aparelhos foram acoplados a um datalogger (CR10 - Campbell) que gerenciava a obtenção dos dados em uma frequência de 16 Hz. Os dados obtidos foram enviados a um notebook e armazenados em arquivos correspondendo cada um deles a 30 minutos de dados brutos.

Foram obtidas as densidades dos fluxos dos componentes do Balanço de Energia na superfície ($W\ m^{-2}$) assim considerado ([ARYA, 2001](#)):

$$Rn = LE + H + G$$

Sendo Rn , saldo de radiação; LE , calor latente; H , calor sensível no ar e G , calor no solo.

Os valores de Rn e G foram obtidos a partir de medições diretas realizadas pela EMA. Rn foi obtida pelo radiômetro líquido com os valores sendo corrigidos em relação à velocidade do vento. G foi calculada a partir da média de duas placas de solos colocadas a 8 cm de profundidade acrescida da energia armazenada na camada acima do solo (S) obtida pela equação (OKE, 1987):

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

Sendo C_v a capacidade calorífica do solo úmido ($J\ m^{-3}\ K^{-1}$) e DT/Dt ($K\ s^{-1}$) a variação média de temperatura do solo cujo sensor estava instalado a 0,05 m (dZ) de profundidade. Foram utilizados os valores de umidade do solo obtidos a 5 cm de profundidade para o cálculo de C_v .

No SCT foram obtidos os dados aos cálculos dos fluxos turbulentos de LE e H pelo Método de Correlação dos Turbilhões Esse método foi proposto por Swinbank (1951) sendo denominado eddy correlation ou eddy covariance e é indicado para a avaliação e quantificação dos fluxos turbulentos em superfícies possibilitando medidas diretas dos fluxos sobre a vegetação. Os instrumentos devem ser de resposta rápida com tomada de dados 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 do ar (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 do ar e a concentração do vapor de água. Foram utilizadas as seguintes equações (OKE, 1987):

$$H = C_a \overline{w'T'}$$

$$LE = L_v \overline{w'q'}$$

Sendo C_a a capacidade calorífica do ar ($\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$); w' o desvio da média para a velocidade vertical do vento (m s^{-1}); T' o desvio da média da temperatura (K); L_v o calor latente de evaporação J kg^{-1} e q' o desvio da média da densidade de vapor de água (kg m^{-3}).

Para a obtenção dos fluxos e outros parâmetros micrometeorológicos, foi utilizado o software Eddy2, adaptação realizada pela equipe de micrometeorologia do CPTEC/INPE do programa EDDYWSC desenvolvido em ALTERRA (Holanda).

Resultados e Discussão

O método micrometeorológico de Correlação dos Turbilhões tem sido utilizado no Brasil em diferentes dosséis, tais como, Floresta Pluvial Amazônica (GRACE et al., 1996), Cerrado no DF (MIRANDA et al., 1996), Cerrado em São Paulo (ROCHA et al., 2002), Cerradão (VOURLITIS et al., 2001) e plantio de cana de açúcar (ROCHA et al., 2000). Uma maneira de se avaliar a qualidade das densidades dos fluxos turbulentos obtidas por esse método é verificando-se a proximidade do fechamento da equação do balanço de energia a partir dos valores das densidades dos fluxos obtidas pelo método (AUBINET et al., 2000). Na Figura 1 são apresentadas, para 4 dias sem chuva, as correlações entre a energia utilizada (LE + H) e a disponível (Rn-G). O valor de correlação igual a 1 indica o fechamento perfeito do balanço de energia a partir dos valores obtidos. O não fechamento total do balanço de energia é esperado já que não está sendo considerado a energia armazenada nas plantas e biomassa, a ocorrência de outros fluxos turbulentos não verticais como a advecção e as quantificações de radiação e calor armazenado que podem estar sendo alterados por propriedades do sítio como distância da borda, rugosidade e efeitos de mesoescala (AUBINET

et al., 2000). Fluxos de até 200 Wm^{-2} , mantiveram um r^2 próximo a 1, situação também observada por Baldochi (1994) e Aubinet et al. (2000). Os coeficientes de correlação obtidos variaram entre 0,87 e 0,92 (Figura. 1). O fechamento do balanço de energia verificado foi similar aos encontrados na literatura. Baldochi (1994) para plantio de milho (OR, USA) encontrou valores de r^2 próximos a 0,94, Aubinet et al. (2000) valores variando entre 0,84 e 0,93 para diferentes coberturas vegetais e Wilson et al. (2002) em 22 áreas distintas, obtiveram um valor médio de 80%.

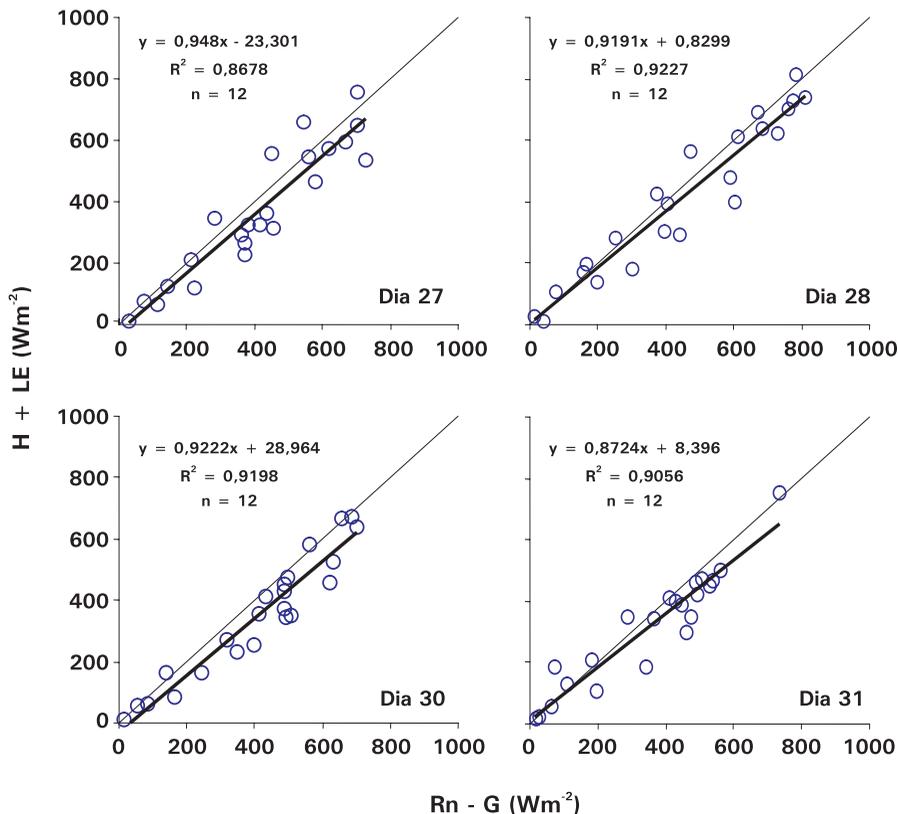


Figura 1. Correlação linear entre a soma dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) e a energia disponível correspondente à radiação líquida (R_n) menos calor do solo (G) em um plantio de milho irrigado (Planaltina, DF) durante quatro dias de veranico (janeiro de 2001). (n) representa o número de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

Na [Figura 2](#) são apresentadas as densidades horárias dos fluxos dos componentes do balanço de energia sobre a cobertura do milho em quatro dias sem chuva. O índice de área foliar (IAF) médio durante o período de estudo foi de 4,5. O peso seco das folhas representava 19,4% do peso das folhas verdes. Observa-se que a maior parte de R_n foi utilizada na evapotranspiração da cultura (LE), encontrando-se percentuais do R_n disponível entre 70% e 79% para LE, 4,7% e 9,4% para H e 5,6% a 11,7% para G. As médias aos quatro dias foram de 76%, 6% e 8% para LE, H e G respectivamente. No período da seca, em uma cultura de trigo irrigado no Cerrado, [Luchiar Jr 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 a R_n 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 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), em um experimento conduzido em um lisímetro de pesagem, no subperíodo pendoamento-espigamento encontrou valores médios de LE de cerca de 0,94. Os resultados obtidos neste estudo pelo método de correlação dos turbilhões demonstraram ser compatível com os obtidos por outros autores pelos métodos Balanço de Energia - Razão de Bowen e lisímetro.

As taxas de evapotranspiração diárias da cultura obtidas foram de 11,6 mm, 12,9 mm, 11,2 mm e 9,3 mm aos dias 27, 28, 30 e 31/11, respectivamente. Esses valores foram mais altos que os obtidos por [Cunha et al. \(1996\)](#) em plantio de milho em Campinas (SP), com IAF próximo a 3 e que obteve no período de maturação, uma taxa de evapotranspiração (ET) de 6,67 mm em dia de sol e sem déficit hídrico. Em um plantio de milho em Washington (USA), com um IAF próximo a 5, [Jara et al. \(1998\)](#) obtiveram um ET médio de 4,2 mm e [Kjelgaard et al. \(1994\)](#), um ET de 4,7 mm.

No dia 31/01 observou-se, como esperado, valores do saldo de radiação (R_n) superiores aos do calor latente (LE). Entretanto, das 15h30 às 16h30 R_n foi menor que LE ([Figura 2](#)) caracterizando a ocorrência do efeito oásis, advecção de

calor sensível circunvizinho em direção ao milho irrigado originando um gasto energético (LE) no processo evaporativo maior que a energia radiante (Rn) disponível na área (ROSENBERG et al., 1983). A velocidade do vento foi de $3,6 \text{ m s}^{-1}$ as 15h30 sendo de aproximadamente 1 m s^{-1} na meia hora anterior e $0,9 \text{ m s}^{-1}$ na meia hora posterior. O aumento da velocidade horizontal do vento em períodos de alta temperatura contribui na ocorrência do efeito oásis. Cunha et al. (1996) em plantio de milho (Taquari, RS) também observou o efeito oásis (entre 12 h e 12h30) em velocidade horizontal do vento superior a 2 m s^{-1} .

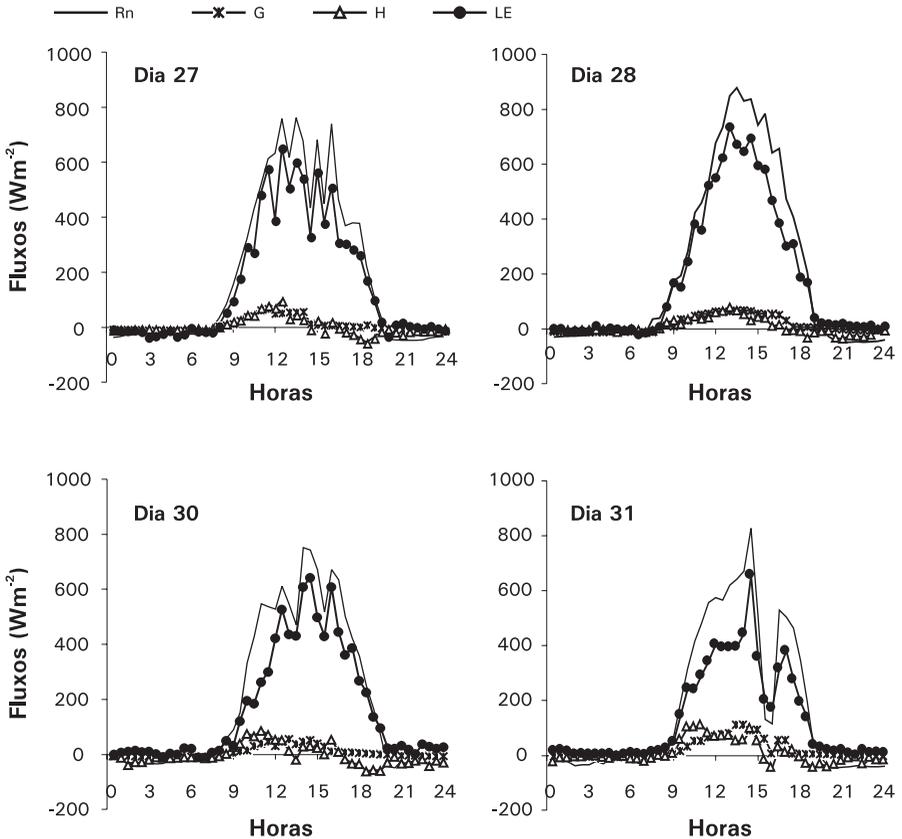


Figura 2. Fluxos horários dos componentes do balanço de energia, radiação líquida (Rn), calor no solo (G), calor latente (LE) e calor sensível (H) em um plantio de milho irrigado na Região do Cerrado (Planaltina, DF) em quatro dias de veranico (janeiro 2001).

Conclusão

1. A plantação de milho estudada, que se encontrava na fase de espigamento, foi irrigada durante o veranico sendo que a maior parte da energia recebida no sistema foi utilizada na evapotranspiração. A combinação de um plantio de milho de IAF de 4,5, sem déficit hídrico, em período sem precipitação e condições atmosféricas de alta demanda evaporativa (verão na latitude 15°35' e altitude de 1007 m), resultou em altas perdas de água da vegetação para a atmosfera com valores diários na taxa de evapotranspiração entre 9,3 e 12,9 mm.

Agradecimentos

Aos técnicos da Embrapa Cerrados João Batista dos Santos, Lúcio Feitoza, Nelson de Oliveira Pais e Valdecí de Matos Lima pela ajuda nas diferentes etapas de trabalho de campo. Ao engenheiro-eletrônico Jorge Luiz Madeira Nogueira e ao pesquisador Antonio Ocimar Manzi do INPE – CPTEC pelo empréstimo de aparelhos e auxílio na tomada e análises de dados. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo aporte financeiro concedido por meio do Programa Centro-Oeste de Pesquisa e pós- Graduação.

Referências Bibliográficas

- ALFONSI, R. R.; SANTOS FILHO, B. G.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; CAMARGO, M. B. P. de. Balanço de energia em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 12, p. 1233-1235, 1986.
- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. (Ed.). **De grão em grão, o Cerrado perde espaço**. Brasília: WWF, 1995. 66 p.
- ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2001. 420 p.
- AUBINET, M.; GRELE, A.; IBROM, V.; RANNIK, U.; MONCRIEFF, J.; FOKEN, T.; KOWALSKI, A. S.; MARTIN, P. H.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, CH.; CLEMENT R.; ELBERS, J.; GRANIER, A.; GRUNWALD, T.; MORGENSTERN, K.; PILEGAARD, K.; REBMANN, C.; SNIJDERS, W.; VALENTINI, R.; VESALA, T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forest: the EUROFLUX methodology. **Advances in Ecological Research**, v. 30, p.113-175, 2000.
- BALDOCHI, D. A comparative study of mass and energy exchange over a closed C₃ (wheat) and na open C₄ (corn) canopy: I. The partitioning of available energy

into latent and sensible heat exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 67, p. 191-220, 1994.

CUNHA, G. R. da; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; 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 deficit hídrico na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 85-95, 1980.

GRACE, J.; LLOYD, J.; MCINTYRE, J.; MIRANDA, A. C.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; MONCRIEFF, J. B.; MASSHEDER, J. B.; WRIGHT, I.; GASH, J. Carbon dioxide flux over Amazon rainforest in Rondônia. In: GASH, J. C. H.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. (Ed.). **Amazon deforestation and climate**. Nova York: J. Wiley, 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, p. 131-145, 1998.

KJELGAARD, J. K.; STOCKLE, C. D.; VILLARMIR, J. M.; EVANS, R. G.; CAMPBELL, G. S. Evaluating methods to estimate corn evaporation from short-time internal weather data. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 6, p. 1825-1833, 1994.

LUCHIARI JUNIOR, A.; RIHA, S. J.; GOMIDE, R. L. Energy balance in irrigated wheat in the cerrados region of central Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, 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.; MIRANDA, H. S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; MCINTYRE, J.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J. Carbon dioxide fluxes over a Cerrado sensu stricto in central Brasil. In: GASH, J. C. H.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTÓRIA, R. (Ed.). **Amazon deforestation and climate**. Nova York: J. Wiley, 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.
- PIMENTEL, C.; ROSSIELLO, R. O. P. Entendimento sobre relações hídricas na cultura do milho. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: MILHO EM PERSPECTIVA, 1., 1992, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa-NPMS; México: CIMMYT: UNDP, 1995. p. 131-146.
- ROCHA, H. L.; CABRAL, O. M. R.; SILVA DIAS, M. A. F.; LIGO, M. A.; ELBERGS, J. A.; FREITAS, H. C.; VON RANDOW, C.; BRUNINI, O. atmospheric CO₂ fluxes and soil respiration over sugar cane in southeast Brazil. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. (Ed.). **Global Climate Change and Tropical Ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 405-414.
- ROCHA, H. R.; FREITAS, H. C.; ROSOLEM, R.; JUÁREZ, R. I. N.; TANNUS, R. N.; LIGO, M. A.; CABRAL, O. M. R.; SILVA DIAS, M. A. F. Measurements of CO₂ exchange over a woodland savanna (Cerrado sensu stricto) in southeast Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2002.
- ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. 2. ed. Boston: Awiley- Interscience, 1983. 495 p.
- SOUZA, J. O. Cerrado ganhou com o milho. **Cultivar**, Pelotas, v. 4, p. 34-35, 1999.
- SWINBANK, W. C. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. **Journal of Meteorology**, Bradford, v. 8, n. 3, p. 135-145, 1951.
- VIEIRA J., P. A. Milho. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Coord.). **Ecofisiologia de cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p. 41-71.
- VOURLITIS, G.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F. T.; CAMPELO JR, J. H. Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature amazonian transitional tropical forest (Cerradão). **Functional Ecology**, Oxford, v. 15, p. 338-395, 2001.
- WILSON, K.; GOLDSTEIN, A.; FALGE, E.; AUBINET, M.; BALDOCCHI, D.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C.; CEULEMANS, R.; DOLMAN, H.; FIELD, C.; GRELE, A.; ANDREAS, I.; LAW, B. E.; KOWALSKI, A.; MEYERS, T.; MONCRIEFF, J.; MONSON, R.; OECHEL, W.; TENHUNEN, J.; VALENTINI, R.; VERMA, S. Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 113, n. 1-4, p. 223-243, 2002.