

BALANÇO DE ENERGIA EM UMA CULTURA DE MILHETO*

ENERGY BALANCE OVER PEARL MILLET CROP

Sandro Luis Petter Medeiros**
Homero Bergamaschi****

Marcos Luis dos Santos***
Moacir Berlato****

RESUMO

Em uma cultura de milho forrageiro (*Pennisetum americanum*, Leek) cv. pérola, em Eldorado do Sul, com coordenadas de 30°05'22"S e 51°40'18"W e 40m de altitude, foram determinados os componentes do balanço de energia na ano agrícola de 1988/89. O fluxo de calor latente de evaporação utilizou a maior porção da energia disponível no sistema, sendo uma função direta da disponibilidade hídrica no solo. O fluxo de calor sensível foi o segundo termo no consumo de energia disponível, variando segundo uma função inversa da disponibilidade hídrica. O fluxo de calor no solo variou inversamente ao índice de área foliar, utilizando a menor fração do saldo de radiação. Em geral, os fluxos de calor sensível no ar e no solo foram positivos somente nas primeiras horas da manhã e ao final da tarde. Em alguns horários houve aporte de energia por advecção, invertendo o gradiente térmico vertical do ar e incrementando o fluxo de calor latente de evaporação.

Palavras-chave: balanço de energia, milho, micrometeorologia.

SUMMARY

Energy balance components were determined in a pearl millet (*Pennisetum americanum*, Leek) crop, in Eldorado do Sul, at 30°05'22"S, 51°40'18"W and 40m altitude, during 1988/89 growing season. The evaporation latent heat flux used the highest fraction of energy balance in the system, and varied inversely to the soil water availability. The soil heat flux varied inversely to the leaf area index, and utilized the lowest fraction of the net radiation. In general, sensible heat flux in the air

and soil were positive early in the morning and in late afternoon. Advective energy incoming was detected during the daytime, when the vertical temperature gradient was inverted near the canopy surface.

Key-words: energy balance, millet, micrometeorology.

INTRODUÇÃO

A técnica do balanço de energia consiste na divisão do saldo de radiação numa superfície, principalmente em fluxos de calor sensível e latente, através de medições de gradientes verticais de temperatura e umidade acima da superfície (DENMEAD & McILROY, 1970 e PEDRO JUNIOR & VILLA NOVA, 1983).

A principal dificuldade para a solução da equação simplificada do balanço de energia reside na quantificação dos fluxos de calor sensível e calor latente na atmosfera, já que o saldo de radiação e fluxo de calor no solo podem ser obtidos diretamente por meio de saldo-radiômetros e placas medidoras de fluxo de calor no solo, respectivamente (CUNHA, 1988).

A hipótese básica do método do balanço de energia ou método da razão de Bowen é a igualdade dos coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível e calor latente (DENMEAD & McILROY, 1970; VERMA et al, 1978; ASTON, 1985 e HEILMAN et al, 1989). Na prática, geralmente assume-se a igualdade destes coeficientes, o que é verdadeiro para as condições de atmosfera neutra.

A maior parte da energia transferida para a atmosfera, em geral, aparece como calor sensível e calor latente, cuja proporção depende da quantidade de água disponível para a evaporação. Se a água estiver disponível, o processo de evaporação não é limitado por fatores da planta ou solo, mas pela energia disponível

* Parte da Dissertação apresentada pelo primeiro autor como um dos requisitos ao grau de Mestre em Fitotecnia (Agrometeorologia) pela Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1990.

** Engenheiro Agrônomo do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia da UFRGS. Professor Assistente do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da UFSM. 97119-900. Santa Maria, RS. Bolsista do CNPq.

*** Engenheiro Agrônomo do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Bolsista da Capes.

**** Engenheiro Agrônomo, Dr., Faculdade de Agronomia, UFRGS. Bolsista do CNPq.

(TANNER & LEMON, 1962).

Os fatores da planta que afetam a evapotranspiração são área foliar, desenvolvimento de raízes, resistência estomática a difusão de vapor e idade fisiológica das plantas. A área foliar parece ser de grande importância direta como superfície transpirante e indireta como superfície que causa sombreamento do solo (TANNER & LEMON, 1962). Após as culturas produzirem a máxima área foliar, durante os períodos de alta radiação, a maior porção da água é usada através do mecanismo de transpiração, caso este seja operativo (PETERS, 1960).

A quantidade de radiação, transformada em calor e armazenada no dossel vegetativo ou fixada pela fotossíntese, pode ser considerada como uma pequena porção da transformação energética total realizada na superfície terrestre (TANNER & LEMON, 1962).

Muitas culturas armazenam menos de 2% da radiação pela fotossíntese, durante o ciclo (TANNER, 1960 e CHANG, 1968). Assim, a fotossíntese tem sido considerada como a menor fração do total do balanço de energia, podendo ser desprezada (TANNER, 1960 e PETERS, 1960).

No balanço de energia, além do saldo de radiação, a advecção pode ser uma outra fonte de grande aporte de energia, a qual depende do tamanho da parcela e das condições hídricas do local e arredores. Esta divergência representa o ganho líquido de energia advectiva pelo dossel da cultura. Ela pode ser consideravelmente grande em climas áridos ou pequenas áreas irrigadas, em climas úmidos (CHANG, 1968 e HANKS et al, 1971). Entretanto, os erros podem ser minimizados por leituras realizadas próximo a superfície da cultura (CHANG, 1978).

Neste trabalho procurou-se quantificar a divisão da energia, sobre um dossel de milho, através da partição do saldo de radiação em fluxos de calor sensível, latente e no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido na Estação Experimental Agrônoma da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, com coordenadas de 30°05'27"S, 51°40'18"W e 40m de altitude. O clima da região pertence ao tipo Cfa conforme a classificação climática de Koeppen.

O solo pertence a Unidade de Mapeamento Arroio dos Ratos, classificado como laterita hidromórfica (MELLO et al, 1966) e mais recentemente classificado plantossolo^a.

O ensaio constou de uma unidade experimental cultivada com milho forrageiro, com dimensões de aproximadamente 80m x 60m, sendo o eixo maior na

orientação leste-oeste.

A semeadura foi realizada com uma semeadeira de cereais em 20/10/88, utilizando-se em torno de 10kg de sementes/ha. O espaçamento entre fileiras foi de 0,38m, com aproximadamente 90 sementes por metro linear, resultando uma população final próxima a 70 plantas por metro linear.

No dia 13/12/88 foi realizado o primeiro corte na cultura. O segundo e último corte foi realizado em 04/03/89.

Foram realizadas três irrigações por aspersão, com objetivo de reduzir a deficiência hídrica e os danos decorrentes da mesma na cultura.

As variáveis micrometeorológicas foram medidas, em intervalos de aproximadamente 30 minutos, durante o período das 7h às 19h em dias representativos de estádios da cultura.

Todos os sensores de sinal elétrico foram acoplados a um sistema de medição, composto de uma chave comutadora e de micro-voltímetro marca ECB.

O fluxo de calor no solo foi determinado através de duas placas medidoras de fluxo de calor no solo, marca Middleton, de constante média 16,8mV por cal.cm⁻².min⁻¹, localizadas a 0,05m e 0,15m da fileira das plantas e a 0,01m de profundidade. No cálculo do balanço de energia foi utilizado a média entre as duas placas.

O saldo de radiação foi determinado através de um saldo radiômetro, marca Phillip-Schenk, de constante 6,138mV, instalado a uma altura fixa de 4m acima do solo.

Os gradientes de temperatura e umidade do ar foram determinados com auxílio de psicrômetro de pares termo-elétricos de cobre-constantan, montados em micro-abrigos de PVC branco, instalados em sete níveis, os quais variaram em função da altura (h) da cultura, sendo os seguintes: 0,05m; 0,5h; h; h+0,5m; h+1,0m; h+2,0m e h+4m. Porém, quando a altura da cultura foi igual ou superior a 1m, os níveis foram modificados para: 0,05m; 0,25h; 0,5h; h; h+0,5; h+1,0m e h+2,0m.

O potencial matricial da água no solo foi determinado através de uma bateria de tensiômetros instalados nas profundidades de 0,075m; 0,15m; 0,30m; 0,45m; 0,60m e 0,70m. Para os potenciais matriciais inferiores a -0,1MPa foram feitas amostragens para a determinação umidade em base de massa e posterior transformação em curvas características, para diferentes profundidades do solo, através da utilização da câmara de pressão de Richards, segundo metodologia citada por LIBARDI (1984).

O índice de área foliar verde foi determinado a partir de três amostras de plantas de 0,53m de linha, correspondendo a uma área de 0,2m². Das folhas de cada amostra foram retiradas três sub-amostras para a determinação da área foliar específica (área foliar/massa de matéria seca). Cada sub-amostra constou de 8 a 10

retângulos com 2,0cm x 3,0cm, retirados de diferentes porções das folhas, localizadas em posições variáveis nas plantas. Assim, conhecida a área foliar específica, como também a massa da matéria seca das folhas das amostras, calculou-se a área foliar das amostras e o índice de área foliar da cultura (IAF).

O balanço de energia foi determinado através da equação simplificada dada por:

$$R_n + LE + H + S = 0 \quad (1)$$

Onde: R_n é o saldo de radiação, LE é o fluxo de calor latente, H é o fluxo de calor sensível e S é o fluxo de calor no solo.

Para a solução da equação (1) utilizou-se o conceito da razão de Bowen (β):

$$\beta = H/LE \quad (2)$$

A fórmula de trabalho da razão de Bowen utilizada foi:

$$\beta = \left\{ \frac{(\delta + \gamma)}{\gamma} (\Delta t_u / \Delta t) - 1 \right\}^{-1} \quad (3)$$

Onde: β é a razão de Bowen, δ é a tangente a curva de pressão de saturação de vapor d'água sobre a água pura à temperatura média dos níveis, γ é a constante psicrométrica e Δt_u e Δt são as diferenças verticais de temperatura do ar de bulbo úmido e seco, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fluxo de calor latente (LE) foi o componente do balanço de energia que utilizou a maior porção do saldo de radiação (R_n), tanto em termos absolutos como relativos (Tabela 1 e 2). Existiu uma tendência do LE seguir o comportamento de R_n , cujas seqüências de máximos e mínimos, geralmente coincidiram (Figuras 1a, 2a e 3a). Para SANSIGOLO et al (1985), LE é o compo-

TABELA 1 - Componentes do balanço de energia e índice de área foliar (IAF) em uma cultura de milho forrageiro. Eldorado do Sul, RS, 1988/89.

DATA	IAF	MJ.m ⁻² .dia ⁻¹			
		Rn	LE	H	S
25/11/88	3,81	18,760	-14,919	-3,201	-0,640
10/02/89	5,91	17,618	-15,591	-1,978	-0,049
17/02/89	5,92	16,082	-11,486	-4,482	-0,114

IAF-índice de área foliar; R_n -saldo de radiação; LE -fluxo de calor latente; H -fluxo de calor sensível; S -fluxo de calor no solo.

TABELA 2 - Relações derivadas do balanço de energia e índice de área foliar (IAF) em uma cultura de milho forrageiro. Eldorado do Sul-RS, 1988/89.

DATA	IAF	Relações adimensionais			
		LE/Rn	LE/(Rn+S)	H/Rn	S/Rn
25/11/88	3,81	-0,795	-0,823	-0,171	-0,034
10/02/89	5,91	-0,885	-0,887	-0,112	-0,003
17/02/89	5,92	-0,714	-0,279	-0,279	-0,007

IAF-índice de área foliar; R_n -saldo de radiação; LE -fluxo de calor latente; H -fluxo de calor sensível; S -fluxo de calor no solo.

nente que melhor responde as variações de R_n , principalmente à tarde e em dias nublados.

Na Tabela 2 verifica-se que LE variou de 71,4% à 88,5% de R_n . Esta variação pode ser atribuída a variação de disponibilidade hídrica e do índice de área foliar (IAF). Na comparação dos dados da Tabela 2, verifica-se que o maior consumo de R_n em LE foi no dia 10/02/89. Na Tabela 3 constam os potenciais matriciais do solo referentes aos dias de observação, os quais foram mais elevados no dia 25/11/88, significando uma maior disponibilidade de água no solo neste dia, porém a Tabela 2 mostra que LE foi 79,5% do R_n , enquanto que no dia 10/02/89 foi 88,5% do R_n . Por estes resultados, verifica-se que o fator que mais influenciou na variação do LE entre estes dois dias foi a diferença de IAF. Isto justifica-se porque, mesmo sendo menor a disponibilidade de água no solo, no dia 10/02/89, a cultura encontrava-se com IAF maior (5,81) comparado ao dia 25/11/88 (3,81). Então, um IAF mais elevado propiciou uma superfície para a interceptação da radiação e perda de água, aumentando o processo de evapotranspiração. Além disso, o maior IAF age indiretamente, fazendo com que menor quantidade de radiação incida sobre a superfície do solo e, conseqüentemente, diminuindo os fluxos de calor sensível e fluxo de calor no solo (S).

Outro fator que pode ter influenciado a diferença na relação LE/R_n observada entre os dias 25/11/88 e 10/02/89 (Tabela 2) pode ter sido o maior desenvolvimento do sistema radicular pois, apesar de ter maior disponibilidade hídrica no dia 25/11/88 (Tabela 3), o menor desenvolvimento do sistema radicular pode ter sido limitante ao processo de transpiração, visto que até então, eram decorridos somente 36 dias após a semeadura.

Sabe-se que menor IAF propicia maior incidência de radiação solar na superfície do solo, causando o secamento deste fazendo com que o processo de evaporação seja restringido. Além disto, menor IAF aliado a

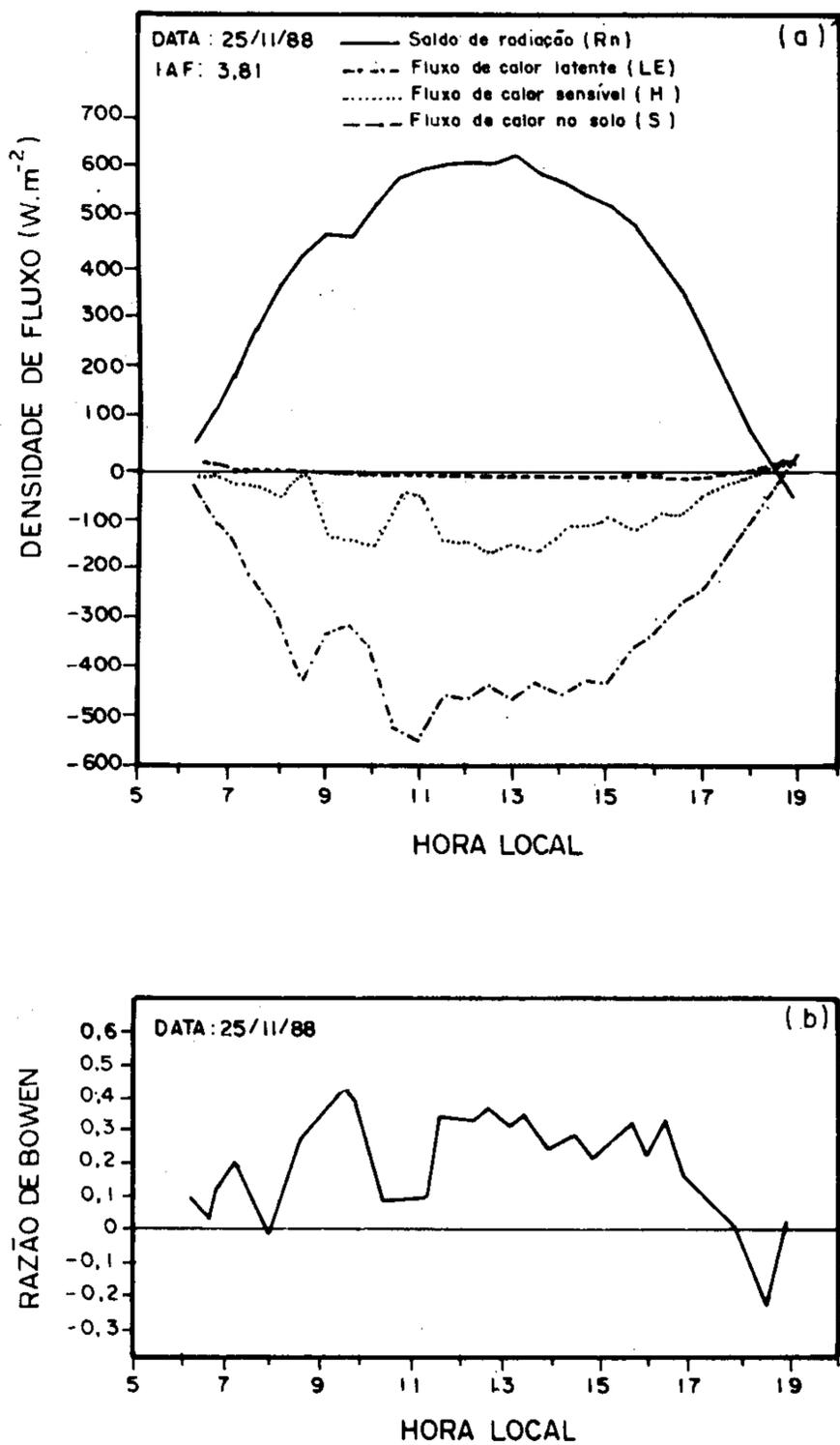


FIGURA 1 - Componentes do balanço de energia em uma cultura de milho forrageiro, cv. pérola (a) e razão de Bowen (b). Eldorado do Sul-RS, 25/11/88.

um sistema radicular pouco desenvolvido atuam de forma a diminuir o processo de transpiração. Assim observou-se menor LE no dia 25/11/88 comparado ao dia 10/02/89 (Tabela 2), mesmo estando com maior disponibilidade de água no solo (Tabela 3).

A Tabela 2 mostra que, nos dias 10/02/89 e 17/02/89, a cultura se encontrava praticamente com o mesmo IAF. Além disto, no intervalo de sete dias entre ambos, não devem ter ocorrido mudanças significativas no sistema radicular. Entretanto, no dia 10/02/89 LE consumiu 88,5% do Rn, enquanto que no dia 17/02/89, o LE foi de 71,4% do Rn. Esta diferença pode ser expli-

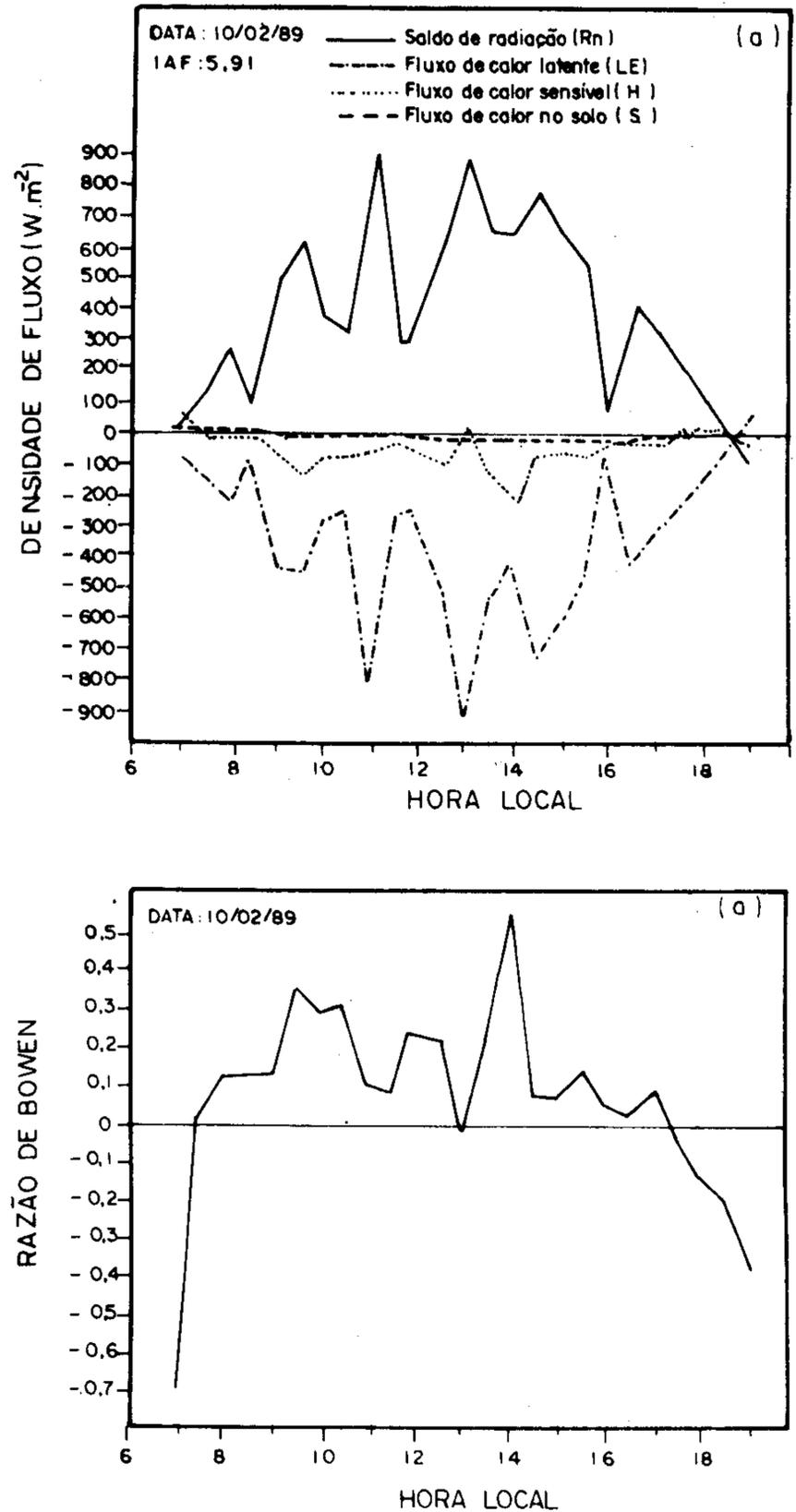


FIGURA 2 - Componentes do balanço de energia em uma cultura de milho forrageiro, cv. pérola (a) e razão de Bowen (b). Eldorado do Sul-RS, 10/02/89.

cada pelos dados da Tabela 3. No dia 17/02/89, o solo encontrava-se com potenciais matriciais muito baixos, inferiores a 1,5MPa, em todas as profundidades, ocorrendo uma menor disponibilidade de água para as plantas, ocasionando um menor consumo de energia no processo de evapotranspiração. Como consequência, houve aumento no fluxo de calor sensível porém, devido ao elevado IAF, o termo S não foi alto.

O fluxo de calor sensível (H) apresentou com-

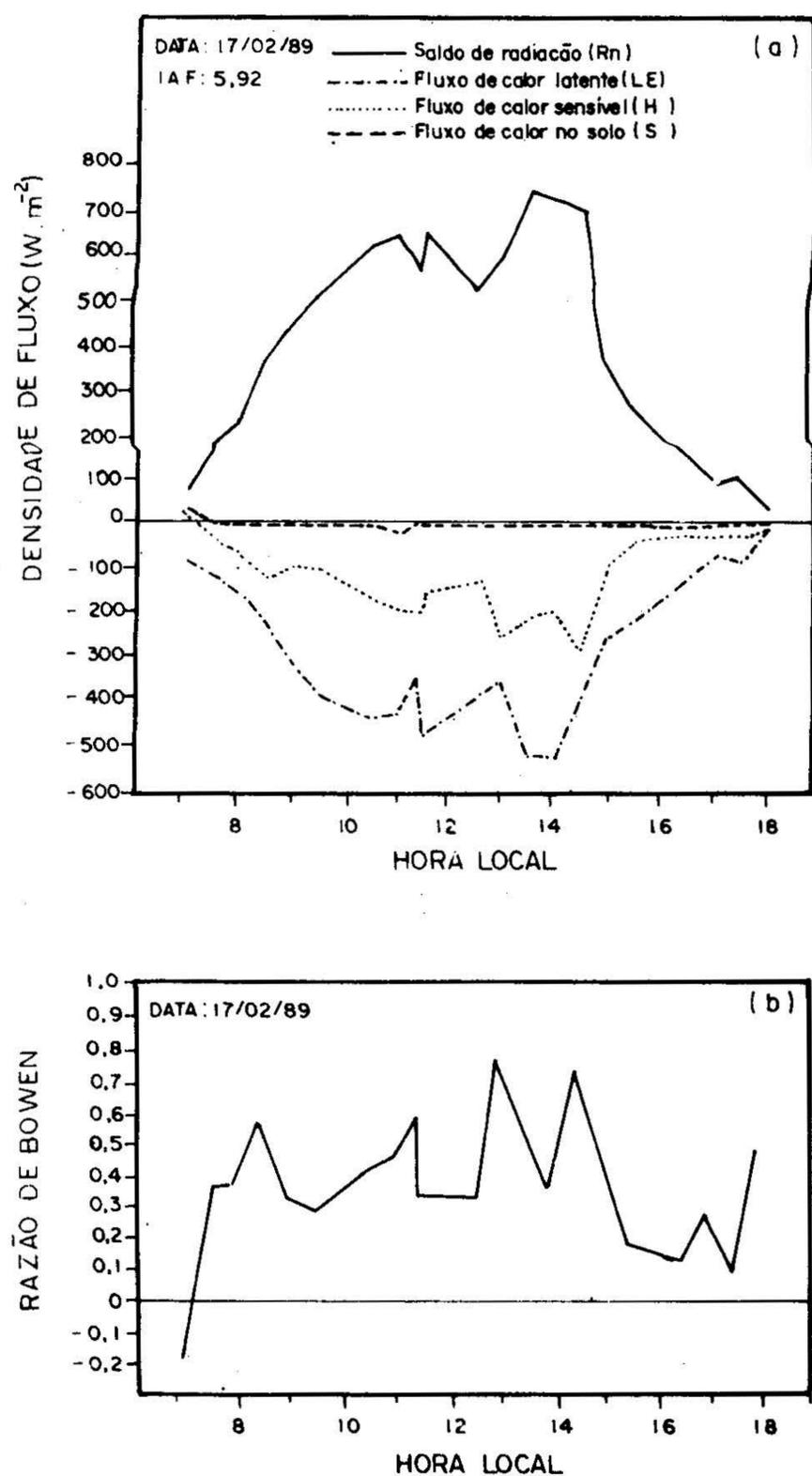


FIGURA 3 - Componentes do balanço de energia em uma cultura de milho forrageiro, cv. pérola (a) e razão de Bowen (b). Eldorado do Sul-RS, 17/02/89.

comportamento inverso a LE e, conseqüentemente, também à disponibilidade hídrica. Os resultados mostraram que no dia 17/02/89, quando os potenciais matriciais foram muito baixos (Tabela 3), ocorreu o maior consumo de Rn para o aquecimento do ar (Tabela 2). De acordo com TANNER & LEMON (1962), se as plantas estiverem bem supridas de água, muita energia disponível poderá ser utilizada no processo de transpiração. Se a água do solo não for disponível para as plantas, restringir-se-á a passagem de água para a atmosfera e uma grande porção da energia será trocada como calor sensível, em

TABELA 3 - Valores mínimos observados de potencial matricial da água do solo (MPa), em diferentes profundidades numa cultura de milho forrageiro. Eldorado do Sul-RS, 1988/89.

DATA	Profundidades (m)					
	0,075	0,15	0,30	0,45	0,60	0,70
25/11/88	-0,009	-0,004	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001
10/02/89	-0,024	-0,030	-0,034	-0,034	-0,042	-0,017
17/02/89	<-1,5	<-1,5	<-1,5	<-1,5	<-1,5	<-1,5

detrimento da transpiração. KANEMASU & ARKIN (1974) citam que, na superfície do solo seco, ocorre maior partição da energia para os fluxos de calor sensível e calor no solo. Porém na Tabela 2 constata-se que a relação H/Rn foi 0,279, enquanto que a relação S/Rn foi apenas 0,007, para o dia 17/02/89. O aumento do fluxo de calor sensível sem um correspondente aumento do fluxo de calor no solo foi devido ao elevado IAF, próximo a 6,0, fazendo com que pouca radiação atingisse o solo, não se configurando a maior partição do Rn, em fluxo de calor no solo.

O fluxo de calor sensível foi o segundo termo do balanço de energia (Tabela 1). Nas figuras 1a, 2a e 3a, constata-se que o termo H foi negativo a maior parte do dia, com exceção de alguns horários, nos quais foi positivo, os quais podem ser confirmados pelos valores negativos de β , nas figuras 1b, 2b e 3b. Segundo LEITE (1978), o valor de β será negativo quando, havendo processo evaporativo, o fluxo de calor sensível for positivo. Isto, acontece quando houver transferência de energia do ar para o sistema, devido as condições de inversão térmica ou pela ocorrência de fluxos laterais de energia (advecção) estimulando o processo evaporativo. Nos dias 10/02/89 (Figuras 2a e 2b) e 17/02/89 (Figuras 3a e 3b), H foi positivo no início da manhã, conseqüentemente ocorrendo valores negativos de β , nestes horários. Conforme CUNHA (1988), os valores de β inferiores a zero, próximo ao início da manhã, são explicados pela inversão térmica imediatamente acima da cultura. Isto ocorre por um resfriamento mais intenso da superfície vegetada que o ar acima, causado pela evaporação do orvalho sobre as plantas. Como conseqüência, ocorre transferência de calor sensível do meio para o sistema.

O fluxo de calor no solo (S) foi o termo do balanço de energia que representou a menor fração de Rn. O fator que mais influenciou a variação do termo S foi o IAF. A partir da Tabela 2, constata-se que ocorreu uma diminuição na relação S/Rn com o aumento do IAF. Assim, no dia 25/11/88, a cultura se encontrava com um IAF de 3,81 e ocorreu o consumo de 3,4% do Rn para o aquecimento do solo e nos dias 10 e

17/02/89, quando a cultura se encontrava com IAF próximo a 6, o termo S consumiu apenas 0,3 e 0,7% do R_n , respectivamente. TANNER (1960) determinou o balanço de energia em cultura de alfafa, cinco dias após o corte, e observou que, devido à elevada área de solo exposta durante o dia, o fluxo de calor no solo foi elevado e substancial porção da energia radiante foi convertida em calor sensível. FONTANA et al (1989) também observaram que o fluxo de calor no solo representou a menor porção do saldo de radiação, com uma variação inversa ao índice de área foliar, para uma cultura de girassol.

Nas figuras 1a, 2a e 3a observa-se que o fluxo de calor no solo foi positivo no início da manhã e ao final da tarde, indicando que nestes períodos o fluxo de energia ocorreu do interior do solo para a superfície, fato esperado, pois com a diminuição da radiação global no final da tarde e sua ausência à noite, a perda de energia por emissão da superfície do solo conduz ao seu resfriamento, ocorrendo inversão do fluxo em relação ao período diurno.

CONCLUSÕES

1 - O fluxo de calor latente de evaporação (LE) utilizou a maior porção da energia disponível na superfície vegetada com milho, sendo que sua variação foi uma função direta, principalmente, da disponibilidade hídrica do solo;

2 - O fluxo de calor sensível (H) variou segundo uma função inversa da disponibilidade hídrica no solo, sendo o termo intermediário no consumo da energia disponível;

3 - O fluxo de calor no solo (S) foi o processo que utilizou a menor fração do saldo de radiação. A sua variação apresentou uma relação inversa ao índice de área foliar;

4 - Em geral, os fluxos de calor sensível no ar e no solo foram positivos nas primeiras horas da manhã e ao final da tarde, sendo negativo no restante do período diurno. Em alguns horários durante o período diurno, houve aporte de energia por advecção, invertendo o gradiente térmico vertical do ar e incrementando o fluxo de calor latente de evaporação.

INFORMAÇÃO PESSOAL

a - Depto. de Solos/UFRGS, comunicação pessoal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTON, A.R. The effect of vertical separation of psychrometers on determination of bowen ratio over young eucalypt forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 35, p. 299-307, 1985.
- CHANG, J.H. *Climate and Agriculture: an Ecology Survey*. Chicago: Aldine, 1968. 304 p.
- CUNHA, G.R. Estudo micrometeorológico da transferência vertical de vapor d'água e energia em milho. Porto Alegre, 1988. 142 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1988.
- DENMEAD, O.T., McILROY, I.C. Measurements of non-potential evaporation from wheat. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v. 7, p. 283-302. 1970.
- FONTANA, D.C., CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H. et al. Balanço de radiação e balanço de energia em cultura de girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1981, Maceió. *Anais...*, Maceió, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. 491 p.
- HANKS, J.L., ALLEN, L.H., GARDNER, H.R. Advection and evaporation of wide row sorghum in the Central Great Plains. *Agronomy Journal*, Madison, v. 63, p. 520-536. 1971.
- HEILMAN, J.L., BRITTIN, C.L., NEALE, C.M.U. Field requirements for Bowen ratio measurements of sensible heat fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 44, p. 261-273. 1989.
- KANEMASU, E.T., ARKIN, G.F. Radiant energy balance and light environment of crops. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v. 14, p. 211-225. 1974.
- LEITE, A.C. *Aplicação do Método do Balanço de Energia e do Método Aerodinâmico de Thornthwaite e Holzman na Estimativa da evapotranspiração na Cultura de feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. Piracicaba, 1978. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1978.
- LIBARDI, P.L. *Dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera*. Piracicaba: ESALQ/CENA/USP. 1984. 232 p.
- MELLO, O., LEMOS, R.C., ABRÃO, P.U.R. et al. Levantamento em série dos solos do Centro Agrônomo. *Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, v. 8, p. 7-155. 1966.
- PEDRO JUNIOR, M.J., VILLA NOVA. Estimativa da resistência ao transporte de vapor d'água em cultura de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 18, p. 691-694. 1983.
- PETERS, D.B. Relative magnitude of evaporation and transpiration. *Agronomy Journal*, Madison, v. 52, p. 536-538. 1960.
- SANSIGOLO, C.A., OLIVEIRA, A.P., TROVATI, L.R. Variação temporal dos componentes principais do balanço de energia em grama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1985. Londrina, PR. *Resumos...*, Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985. 280 p. p. 67-68.
- TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, v. 24, p. 1-9. 1960.
- TANNER, C.B., LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. *Agronomy Journal*, Madison, v. 54, p. 207-212. 1962.
- VERMA, B.S., ROSEMBERG, J.N., BLAD, L.B. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. *Journal Applied Meteorology*, Boston, v. 17, p. 330-338, 1978.