

# BALANÇO DE ENERGIA EM CULTURA DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EM MEIO PROTEGIDO POR POLIETILENO

Emerson GALVANI<sup>1</sup>, João Francisco ESCOBEDO<sup>2</sup>, Marcelo Augusto de AGUIAR E SILVA<sup>3</sup>, Élcio Silvério KLOSOWSKI<sup>4</sup>

## RESUMO

Avaliou-se o saldo de radiação (SR), o fluxo de calor no solo (FCS), o fluxo de calor latente de evaporação (LE) e o fluxo de calor sensível (H) diariamente ao longo do ciclo da cultura de pepino. Os fluxos SR e FCS foram quantificados e os fluxos LE e H estimados em dois níveis distintos pela metodologia de Bowen. Em condição de casa de vegetação ao longo do ciclo da cultura de pepino (122 dias) os fluxos FCS, LE e H representaram respectivamente, 0,32 (+2,505 MJ.m<sup>-2</sup>); 108,41 (-752,0 MJ.m<sup>-2</sup>) e 9,36% (+64,94 MJ.m<sup>-2</sup>) de SR. Para a condição externa o SR de radiação foi equipartido em 2,11% (FCS), 86,11% (LE) e 5,87% (H).

## INTRODUÇÃO

O conhecimento da evapotranspiração ou demanda atmosférica ou fluxo de calor latente de evaporação (LE), contribui para um planejamento racional da técnica de irrigação e, fornece juntamente com outros parâmetros, subsídios básicos a regionalização das áreas com condições mais adequadas ao desenvolvimento de determinadas espécies vegetais. Além disso, a avaliação da quantidade de água exigida por determinada cultura torna-se ainda mais importante, principalmente em condições de tropicalidade, onde as fases críticas de desenvolvimento vegetativo, florescimento e conseqüentemente produtividade são mais limitados pelo fator hídrico.

Inúmeros são os trabalhos apresentados na literatura que tratam da partição do balanço de energia sobre as mais diversas culturas, desnecessário se faz descrevê-los extensivamente: Villa Nova (1973), Pedro Junior & Villa Nova (1981), Alfonsi et al. (1986), Fontana et al. (1991), Bergamaschi et al. (1988), Cunha et al. (1996), Galvani et al. (1997), entre muitos outros. Contudo observa-se em extensa literatura número limitado de trabalhos que tratem da partição do balanço de energia ao longo de todo o ciclo da cultura e em ambientes controlados, como casas de vegetação,

<sup>1</sup> Dep. de Ciências Ambientais, FCA, UNESP, Botucatu, 18603-970, Cx. P. 237, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: [galvani@fca.unesp.br](mailto:galvani@fca.unesp.br) . Bolsista FAPESP processo nº 08974/7.

<sup>2</sup> Dep. de Ciências Ambientais, FCA, UNESP, Botucatu, SP, Brasil. Caixa Postal 237, C.E.P. 18.603-970. E-mail: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br) .

<sup>3</sup> Aluno do curso de Eng. Agrônômica, Bolsista CNPq processo 380/98.

<sup>4</sup> Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Campus Universitário, 87020-900 - Maringá - Paraná, Brasil.

por exemplo. Diante dessa realidade objetiva o presente trabalho quantificar o saldo de radiação e os fluxos de calor no solo, estimar os fluxos de calor latente de evaporação e fluxos de calor sensível, assim como sua partição ao longo de todo o ciclo da cultura de pepino cultivado dentro e fora de casa de vegetação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Campo experimental e manejo da cultura**

O trabalho foi conduzido junto a área experimental do Departamento de Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, campus de Botucatu. O experimento teve início com o transplântio das mudas em 13 de maio e término em 11 de setembro de 1998, totalizando 122 dias de ciclo, sendo denominado ciclo de inverno. As mudas foram previamente semeadas 15 dias antes do transplântio em bandejas de estiropor com 108 células cada unidade em substrato plantmax. A variedade utilizada foi a hokuro de crescimento indeterminado, sendo tutorada até altura de 1,80 m em suportes de bambu intercalados por fita de polietileno distanciadas 0,15 m. O espaçamento utilizado foi de 0,30 m entre plantas e 0,7 na linha. Foram utilizadas duas parcelas de 7,0 de largura por 40,0 m de comprimento sendo uma dentro e outra externa a casa de vegetação. A irrigação foi efetuada a partir de lâmina de água evapotranspirada em lisímetros de lençol freático constante instalados três unidades dentro e três externa a casa de vegetação. Estabeleceu uma equação de regressão entre tempo e vazão dos gotejadores, assim, a lâmina evapotranspirada era repostada no dia seguinte, mantendo o sistema ligado por um tempo proporcional a lâmina.

### **Instrumental utilizado**

A temperatura do ar foi monitorada com uso de termopares de cobre-constantan e utilizando-se como temperatura de referência sensor resistivo da Campbell. Ao todo foram instalados 12 termopares sendo 6 unidades dentro e as demais externa a casa de vegetação, desse total 3 unidades foram mantidas envoltas em um “mucelin” obtendo assim temperaturas de bulbo seco e úmido. Os termopares foram instalados em micro-abrigos em acrílico boa exposição dos sensores, mas, evitando a radiação solar direta e parte da difusa. Os micro abrigos foram mantidos equidistantes um do outro em 0,5 m e acima do dossel da cultura por igual distância, assim, a medida que a cultura se desenvolvia os micro-abrigos foram sendo elevados até atingir no final do ciclo as alturas de 2,5, 3,0 e 3,5 m, para os níveis 1, 2 e 3, respectivamente. O saldo de radiação (SR) foi monitorado por sensores da REBS (Radiation and Energy Balance Systems) instalados fixos a 2,0 m de altura apresentando constante de calibração de  $KSR_{in} = 9,14 \text{ W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1}$  e

$KS_{Rext} = 13,4 \text{ W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1}$ . Fluxímetros instalados a 0,02 m de profundidade monitoraram o fluxo de calor para o solo (FCS) e foram dispostos na parcela central da área experimental entre duas linhas de plantio. As constantes de calibração utilizadas foram  $KFCS_{int} = 35,8 \text{ W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1}$  e  $KFCS_{ext} = 36,2 \text{ W.m}^{-2}.\text{mV}^{-1}$ . Esse conjunto de sensores, totalizando 20 canais foram conectados a um DATALLOGGER 21 X por intermédio de um multiplexador para até 32 canais. Os dados foram coletados na frequência de 15 segundos e médias armazenadas a cada cinco minutos, em seguida transferidos para um micro por intermédio de módulo de memória.

### Metodologia do balanço de energia

O cálculo do balanço de energia foi baseado no procedimento de Bowen. Considerou-se apenas o balanço vertical, os termos armazenamento de calor latente e sensível dentro da cultura foram desprezados, a fração de energia utilizada em sínteses biológicas quase nunca ultrapassa 2% do saldo de radiação, a equação geral do balanço de energia pode ser descrita da seguinte forma:

$$SR + H + LE + FCS \cong 0$$

Onde: **SR** é o saldo de radiação sobre a superfície; **H** é o fluxo convectivo de calor sensível; **LE** é o fluxo convectivo de calor latente (evapotranspiração) e, **FCS** é o fluxo de calor no solo.

No cálculo do balanço de energia os fluxos que chegavam ao sistema (cultura de pepino), foram considerados positivos, enquanto os fluxos que saiam do sistema foram considerados negativos. Assim, o topo da cultura e a superfície do solo foram considerados os limites, superior e inferior do sistema. Portanto, acima da cultura os fluxos ascendentes eram negativos e vice-versa e, no interior do solo os fluxos ascendentes eram positivos e vice-versa. Os valores H e LE foram estimados através da razão de Bowen:

$$b = \frac{H}{LE}$$

$$b = \frac{1}{\left(\frac{S + g}{g}\right) * \left(\frac{\Delta T_u}{\Delta T} - 1\right)}$$

Onde:

$\Delta T_u$  e  $\Delta T$  representam os gradientes de temperatura de bulbo úmido e seco entre o nível superior e inferior.

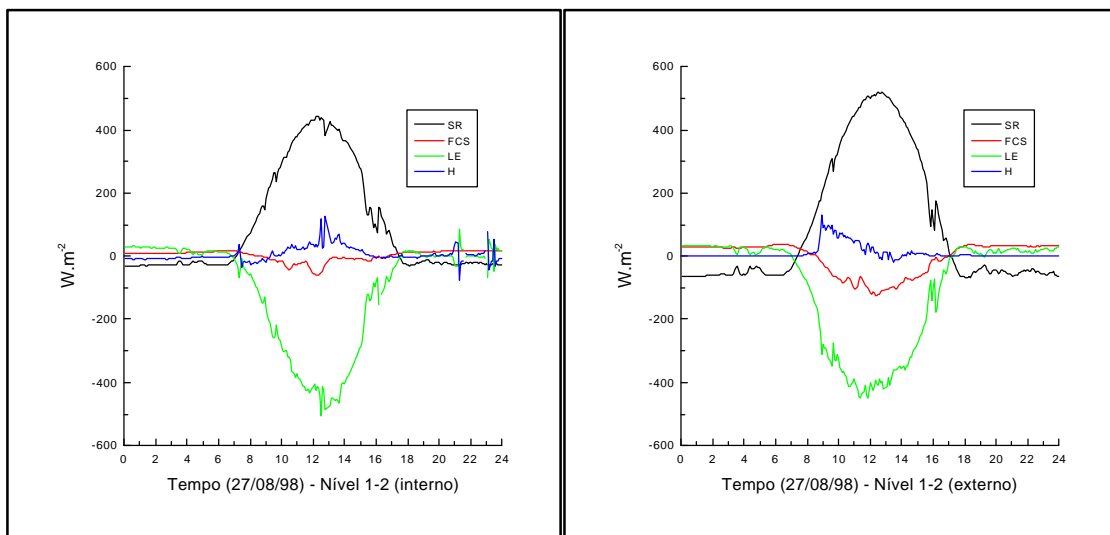
Conhecida a Razão de BOWEN obteve-se os valores de LE e H, por:

$$LE = -\frac{(SR - FCS)}{(1 + b)}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Balanço de energia diário

Os componentes do balanço de energia medidos (SR e FCS) e estimados (H e LE) ao longo de todo o ciclo da cultura totalizaram 122 dias de observações e um total de 288 observações diárias para cada componente. A figura 01 abaixo mostra os componentes do balanço de energia em condição interna (a) e externa (b) para o dia 27/08/98 entre os níveis 1-2, período em que a cultura encontrava-se em pleno crescimento vegetativo. A tabela 01 apresenta a partição do balanço de energia para o dia 27/08/98 entre os níveis 1-2 dentro e fora da casa de vegetação. Considerando o saldo de radiação como o total de energia em termos de fluxos verticais para um determinado meio (100%) encontramos para a condição interna valores positivos de 2,53% (+0,205 para fluxo de calor no solo e 6,36% (+0,505 MJ.m<sup>-2</sup>) para fluxo de calor sensível, ocasionado, portanto, acréscimo e energia disponível, conseqüentemente, elevando os valores de fluxo de calor latente de evaporação para 8,6% da energia disponível (SR). Em condição externa o fluxo de calor no solo representou uma transferência de energia para o interior do solo (-0,403 MJ.m<sup>-2</sup>), os fluxos de calor sensível representaram 10,60% e de calor latente de evaporação 108,1%. A partição integrada dos componentes (FCS+H+LE) ao longo das 24 horas do dia apresentaram superior em 2,36% o total de energia disponível. Cunha et al (1996) trabalhando com cultura de milho no Rio Grande do Sul encontraram valores de 80,14 e 6 % para o fluxo de calor latente de evaporação, sensível e no solo, respectivamente.



**Figura 01:** Partição do balanço de energia para o dia 27/08/98 entre os níveis 1-2 sobre cultura de pepino em condição interna (a) e externa (b) a casa de vegetação.

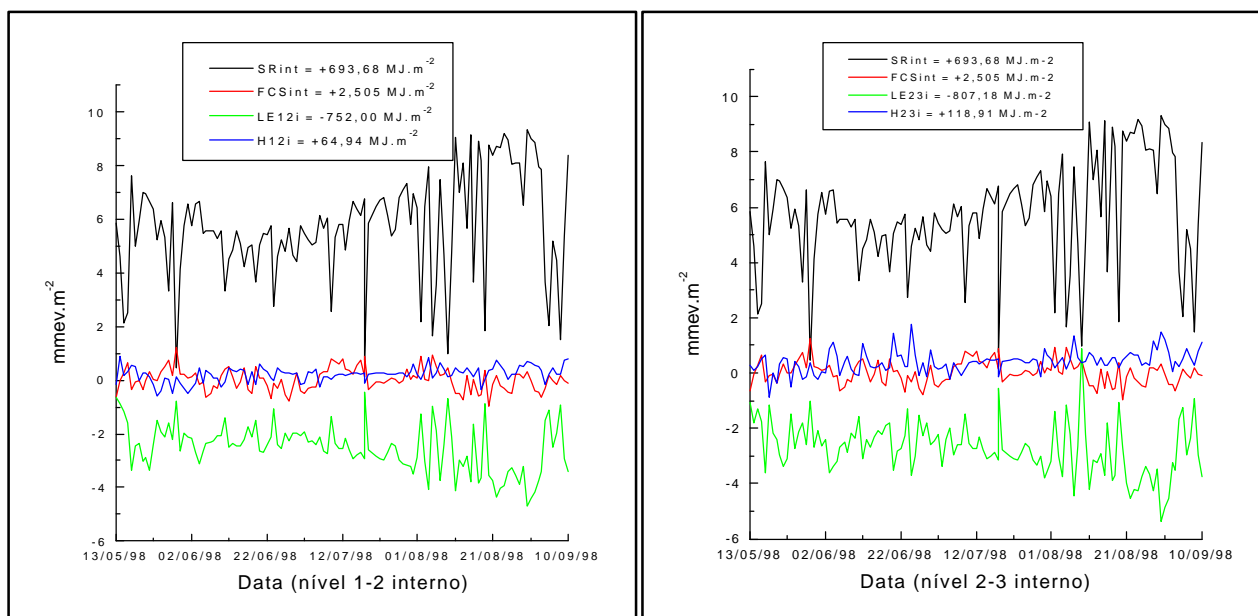
Cabe lembrar que a partição do balanço energia diário está condicionado a latitude do local (SR), tipo de cobertura (albedo), tipo e umidade do solo (FCS) e, advecção lateral intensificado pela ação do vento e bordadura (H).

**Tabela 01:** Partição do balanço de energia para dia 27/08/98 entre os níveis 1-2 em condição interna e externa a casa de vegetação.

Condição interna – níveis 1-2				Condição externa – níveis 1-2				Interno	Externo
SR	FCS	H	LE	SR	FCS	H	LE	FCS+H+LE	FCS+H+LE
+8,092	+0,205	+0,515	-8,786	+8,259	-0,403	+0,875	-8,926	8,066	8,454
100,0%	2,53%	6,36%	108,6%	100,0%	4,88%	10,60%	108,1	99,68%	102,36%

### Balanço de energia ao longo do ciclo – condição interna

A figura 02 representa a partição do balanço de energia entre os níveis 1-2 (a) e 2-3 (b) em condição interna a casa de vegetação. Observa-se graficamente que a medida que aumenta-se a disponibilidade de energia diária tem-se um aumento dos fluxos de calor latente de evaporação em ambos os níveis. A tabela 02 apresenta os totais integrados de SR, FCS, H e LE ao longo de todo o ciclo.



**Figura 02:** Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2-3 (b) em condição interna, durante o ciclo da cultura de pepino.

O SR totalizou 693,68 MJ.m<sup>-2</sup>. Percentualmente o FCS representou-se 0,32% de SR, esse baixo valor pode estar associado ao sombreamento do solo pela cultura ao longo de quase todo o ciclo e também pela diminuição da radiação direta no interior da casa de vegetação.

Os fluxos de calor sensível quantificados entre os níveis 1-2 e 2-3 representaram um acréscimo de 9,36% e 17,14% , contribuindo para valores de LE em 8,41 e 16,36% superiores a LE. Esse acréscimo diferenciado de H entre os níveis 1-2 e 2-3 pode ser explicado pelo fato dos níveis superiores estarem sujeitos a maior advecção lateral intensificado pela maior ação do vento com a altura acima do solo. A contabilização de todos os fluxos (FCS+H+LE) respeitando as convenções

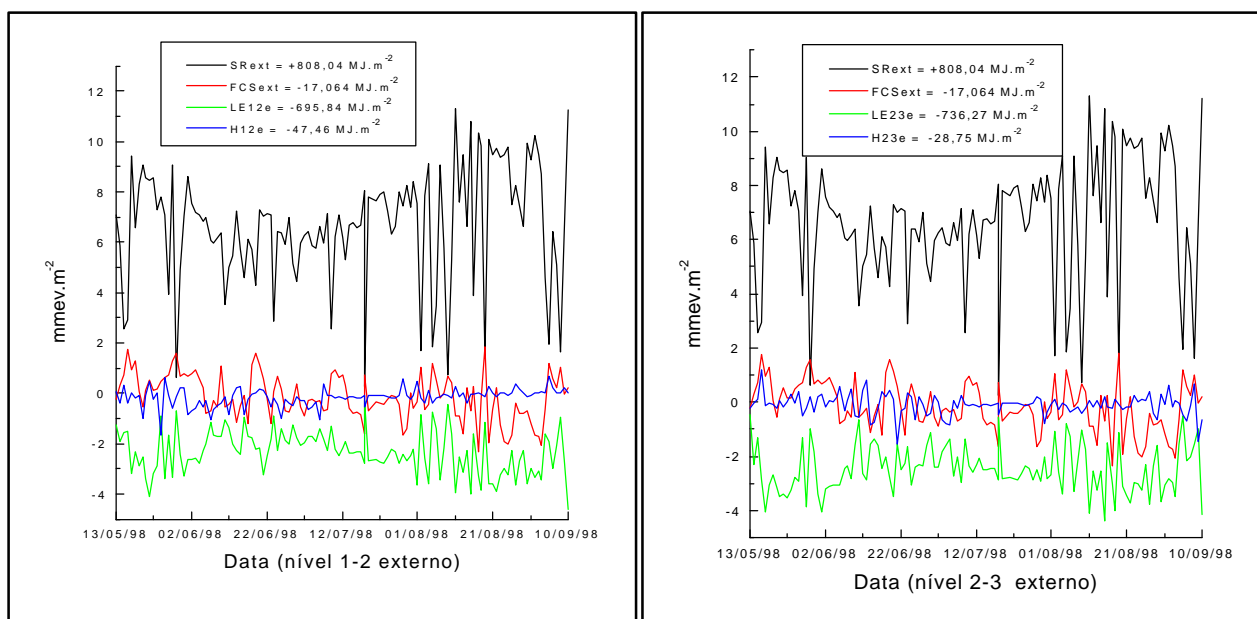
de sinais apresentado na metodologia encontramos valores de 98,68 e 98,86% do saldo de radiação disponível.

**Tabela 02:** Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição interna a casa de vegetação.

SR	FCS	LE1-2	LE2-3	H1-2	H2-3	1-2	2-3
						FCS+LE+H	FCS+LE+H
+693,68	+2,505	-752,00	-807,18	+64,94	+118,91	684,56	685,76
100,00%	+0,32%	-108,41%	-116,36%	+9,36%	+17,14%	98,68%	98,86%

### Balço de energia ao longo do ciclo – condição externa,

Procedimento semelhante ao efetuado para condição interna efetuou-se externamente. Para essa condição o saldo de radiação totalizou  $808,04 \text{ MJ.m}^{-2}$  durante todo o ciclo (100%). O FCS representou desse total valores negativos que totalizam 2,11% ( $-17,064 \text{ MJ.m}^{-2}$ ). Os fluxos de calor sensível representaram 5,87 ( $-47,46 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) e 3,56% ( $-28,75 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) para os níveis 1-2 e 2-3, respectivamente. Os fluxos de calor latente de evaporação representaram 86,11 e 91,12 %, para os níveis 1-2 e 2-3, respectivamente. A integração dos valores de H, LE e FCS respeitando as convenções de entradas e saídas de energia do meio representaram 94,10 (nível 1-2) e 96,66% (nível 2-3) do SR, evidenciando que a parcela externa durante o ciclo sofreu perdas laterais de energia devido ao efeito advectivo.



**Figura 03:** Variação do saldo da radiação (SR), fluxo de calor no solo (FCS), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) entre os níveis 1 e 2 (a) e 2-3 (b), em condição externa, durante o ciclo da cultura de pepino .

**Tabela 03:** Relações entre SR, FCS, H e LE para os níveis 1-2 e 2-3 em condição externa.

SR	FCS	LE1-2	LE2-3	H1-2	H2-3	1-2	2-3
						FCS+LE+H	FCS+LE+H
+808,04	-17,064	-695,84	-736,27	-47,46	-28,75	-760,36	-781,08
+100,00%	-2,11%	-86,11%	-91,12%	-5,87%	-3,56%	94,10%	96,66%

## CONCLUSÕES

Em condição de casa de vegetação o saldo de radiação ( $693,98 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) ao longo do ciclo da cultura de pepino foi dividido em: 0,32; 108,41 e 9,36% para os fluxos de calor no solo, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível, respectivamente. Para condição externa o saldo de radiação de radiação foi dividido em 2,11% (Fluxo de calor no solo), 86,11% (fluxo de calor latente de evaporação) e 5,87% (fluxo de calor sensível).

## BIBLIOGRAFIA

- ALFONSI, R.R.; SANTOS FILHO, B.G. dos.; 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. 1233-5, dez. 1986.
- BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. II Balanço de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n.07, p. 745-57, jul. 1988.
- CUNHA, G. R. da.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MATZENEVER, R. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 1996.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n.03, p. 403-10, mar. 1991.
- GALVANI, E.; DANTAS, R.T.; ESCOBEDO, J.F.; GUANDIQUE, M.E. Balanço de energia em cultura de alface (*Lactuca Sativa*, L.) em condições de estufa com orientações leste-oeste e norte-sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.500-3, 1997.
- PEDRO JUNIOR, M.J. & VILLA NOVA, N.A Balanço de energia em soja (*Glycine max* L. Merr). **Turrialba**, v. 31, n.4, p309-12, 1981.
- VILLA NOVA, N.A Estudos sobre balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, 1973, 77p. (Tese Livre Docência – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-ESALQ/USP).