

MÁRIO JOSÉ PEDRO JÚNIOR\*\*  
NILSON AUGUSTO VILLA NOVA\*\*\*

### Abstract

*The energy balance method was used to estimate the partitioning of the available net radiation on a soybean crop. Results of the distribution of the net radiation into the various components of the energy balance (evapotranspiration, and sensible heat and soil heat flux) are presented.*

### Introdução

Qualquer comunidade vegetal, para realizar seu ciclo biológico, necessita de determinada quantidade de água que é utilizada, predominantemente, nos processos de evaporação e transpiração.

O conhecimento desta demanda contribui para um planejamento racional da técnica de irrigação e fornece subsídios básicos à regionalização das áreas com condições ecológicas mais adequadas ao desenvolvimento da cultura.

Além disso a avaliação da quantidade de água exigida pelas culturas é importante, principalmente, em condições tropicais, onde as fases críticas do crescimento vegetativo, florescimento e maturação, e, conseqüentemente, a própria produtividade, são mais limitadas pelo fator hídrico.

O método do balanço de energia permite estimar essas necessidades, medindo a energia disponível e separando-a em diferentes processos, dentre os quais a evapotranspiração.

O presente trabalho tem por objetivo: determinar como a energia solar líquida recebida por uma cultura de soja se reparte nos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e aquecimento do solo para a cultura da soja.

### Materiais e métodos

#### Materiais

O experimento foi conduzido no Centro Experimental de Campinas, do Instituto Agrônomo, situado a 22°53'S, 47°04'W, a uma altitude de 706 m. A cultura de soja (cultivar Santa Rosa) utilizada para o estudo ocupava uma área aproximada de 3 ha e o espaçamento era 0.70 m entre linhas, com sementeira de 30 sementes por metro linear.

No centro da área cultivada foi instalado um radiômetro líquido (Middleton & Co. Pty. Ltd – Austrália) acoplado a um potenciômetro (Flatbed Recorder BD7 – Kipp & Zonen – Holanda). O aparelho foi mantido a cerca de 1 metro acima do topo da cultura. O conjunto psicrométrico utilizado consistia de termopares de ferro-constantan instalados em micro-abrigos, construídos com tela pintada de branco (malha de 1 mm) e estavam 0.50 e 1.05 m acima do topo da cultura e acoplados a um potenciômetro Leeds and Northrup Co. modelo 8690 – U.S.A. Para as determinações do fluxo de calor no solo, foram montadas em paralelo quatro placas medidoras de fluxo de calor no solo (Middleton & Co. Ltd – Austrália) a 0.01 m de profundidade no solo, no projeção

\* Recebido para publicação em 22 abril 1981.

\*\* Seção de Climatologia Agrícola – Instituto Agrônomo – 13 100 Campinas, São Paulo, Brasil. (Com bolsa de Suplementação do CNPq).

\*\*\* Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da USP. 13 400 Piracicaba, São Paulo, Brasil.

do radiômetro líquido e posicionadas nas linhas e entre linhas da cultura. As placas de fluxo estavam acopladas a um potenciômetro Labograph E-428 – Metrohm Herisau – Suíça.

### Métodos

De acordo com Lemon (2) o conhecimento dos principais processos físicos que controlam o meio ambiente, no qual as plantas vivem e se desenvolvem, pode ser alcançado através do balanço de energia das superfícies das plantas e do solo.

O balanço de energia de uma superfície vegetada, expresso em termos dos fluxos verticais é:

$$R_n + G + LE + H \approx 0 \quad 1$$

onde  $R_n$  é a radiação líquida disponível;  $G$  é o fluxo de calor no solo;  $H$  é o fluxo convectivo de calor sensível e  $LE$  é o fluxo convectivo de calor latente.

Os valores de  $R_n$  e  $G$  foram determinados por medição direta no campo e os valores de  $H$  e  $LE$  foram estimados através da razão ( $\beta$ ) introduzida por Bowen (1) e de acordo com o teoria descrita por Villa Nova *et al* (4).

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad 2$$

A razão de Bowen foi determinada, segundo Webb (5), por:

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{s + \gamma}{\gamma}\right) \left(\frac{\Delta T_u}{\Delta T}\right) - 1} \quad 3$$

onde  $s$  é a tangente à curva de saturação de vapor sobre a água no ponto temperatura média úmida entre os níveis de medida;  $\gamma$  é a constante psicrométrica reduzida;  $\Delta T$  é a diferença de temperatura de bulbo seco e  $\Delta T_u$  é a diferença de temperatura de bulbo úmido entre os níveis de medida ( $Z_1$  e  $Z_2$ ).

Conhecida a razão de Bowen, foram calculados os valores de  $LE$  e  $H$  utilizando-se a equação 1 e:

$$LE = \frac{R_n + G}{1 + \beta} \quad 4$$

As equações 1, 3 e 4 constituem a formação do método do balanço de energia e permitem estimar os fluxos convectivos de calor sensível e latente sobre uma superfície natural evaporante.

### Resultados

Foram feitas determinações do balanço de energia em cultura de soja nos dias 30/01/76, 11/02/76, 12/03/76 e 17/03/76, respectivamente 61, 73, 102 e 107 dias após o plantio.

As condições pluviométricas que antecederam as datas de observação foram:

- chuva de 96 mm nos quatro dias anteriores à observação feita em 30/01/76;
- chuva de 93 mm nos cinco dias que antecederam a observação realizada em 11/02/76;
- chuva de 36 mm nos quatro dias anteriores a observação feita em 12/03/76 e não houve ocorrência de chuvas antes da observação feita em 17/03/76.

Os resultados da variação horária dos componentes do balanço de energia ( $R_n$ ,  $G$ ,  $H$  e  $LE$ ) estão representados graficamente na Figura 1 e os valores médios de distribuição da radiação líquida em diferentes processos na Figura 2. No Quadro 1, são apresentados os valores horários da razão de Bowen.

### Discussão

O critério adotado para a utilização do método do balanço de energia basou-se na convenção de se considerar como positivos os fluxos que entram no sistema, e como negativos, os que dele saem.

O valor da razão de Bowen ( $\beta$ ) é negativo, durante o processo evaporativo, quando o fluxo de calor sensível é positivo. Isto acontece nos casos de transferência de calor do ar para o sistema, que pode ocorrer em condições de inversão do gradiente de temperatura. Isto foi observado durante a tarde do dia 30/01/76, manhã e parte da tarde de 11/02/76 e durante o fim da tarde de 12/03/76 (Quadro 1).

Segundo Tanner (3), valores de  $\beta$  entre -0.5 e -1.5 levam à obtenção de valores de  $LE$  que não devem ser considerados consistentes. Nas condições do experimento tais valores de  $\beta$  normalmente não ocorreram, exceto no dia 11/02/76, das 7 às 9 horas (Quadro 1).

Analisando-se a Figura 1 nota-se que não há uma perfeita concordância de fase entre  $LE$  e  $R_n$ , pelo fato de  $LE$  depender primordialmente do balanço de energia do nível da superfície vegetada, que é defasado de seu valor à altura de 100 cm, onde foi

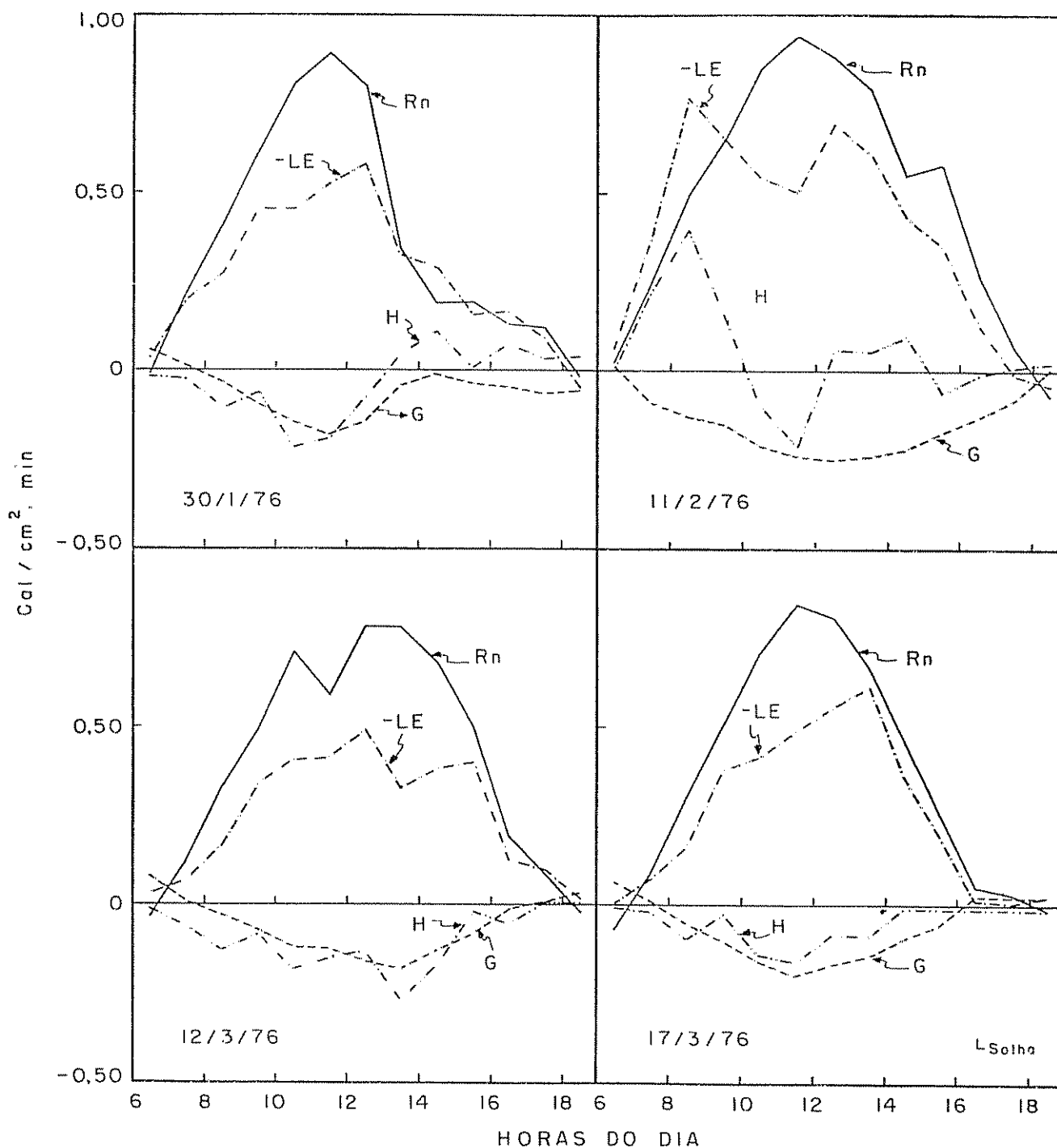


Fig 1 Variação horária dos fluxos de radiação líquida (Rn), de calor no solo (G), de calor sensível (H) e de calor latente (LE), para cultura de soja em diferentes datas.

medida a Rn. Semelhante defasagem foi notada por Villa Nova *et al.* (4) em cultura de arroz de sequeiro.

Em algumas ocasiões o valor de LE excedeu o valor de Rn, e isto foi possível nos casos em que ocorre transferência de calor sensível do ar à superfície vege-

tal devido à uma inversão no gradiente de temperatura, como ocorrido nas manhãs e por um período mais longo em 11/02/76, pois havia orvalho nas folhas de soja. Ao se iniciar o processo evaporativo, o orvalho contribuiu para uma diminuição da temperatura das folhas, fazendo com que o fluxo de calor

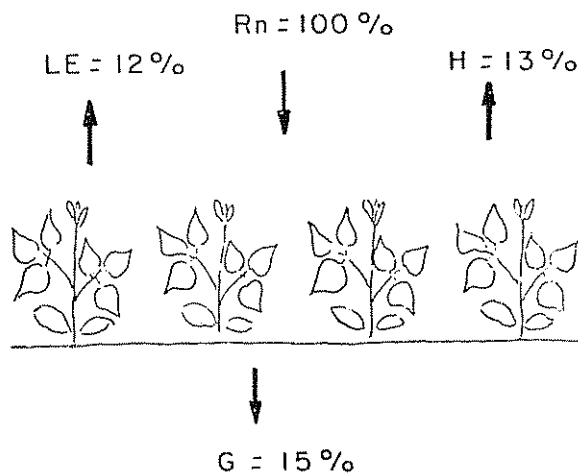


Fig 2 Esquema da distribuição média da radiação líquida nos diferentes componentes do balanço de energia para cultura da soja

fosse do ar para os sistema. A tarde, normalmente, ocorreu a inversão do gradiente, pois as folhas se resfriaram mais depressa do que o ar.

No dia 30/01/76 o céu estava nublado no período da tarde e os valores de LE foram praticamente iguais aos de Rn (Figura 1), tendo os valores de H e G se tornando baixos.

Nas condições do presente experimento e considerando-se as sucessivas datas de observação, foram

Quadro 1. Valores médios horários da razão de Bowen ( $\beta$ ) para diferentes datas em cultura de soja na região de Campinas (SP).

Hora	Valores de $\beta$			
	30/01/76	11/02/76	12/03/76	17/03/76
6 - 7	0.469	-0.387	0.386	4.386
7 - 8	0.111	-0.594	0.808	0.257
8 - 9	0.402	-0.520	0.747	0.581
9 - 10	0.159	-0.235	0.231	0.073
10 - 11	0.483	0.178	0.450	0.339
11 - 12	0.358	0.409	0.348	0.331
12 - 13	0.127	-0.090	0.270	0.140
13 - 14	-0.127	-0.088	0.799	-0.143
14 - 15	-0.364	-0.230	0.447	0.018
15 - 16	-0.054	0.177	0.046	0.023
16 - 17	-0.468	0.046	0.439	0.862
17 - 18	-0.374	0.459	-0.032	1.307
18 - 19	0.830	0.488	-0.300	0.167

obtidos, respectivamente os seguintes valores da relação LE/Rn: 0.75, 0.81, 0.62 e 0.71 com um valor médio de 0.72. Este valor médio obtido em cultura de soja corresponde ao valor observado para a maioria das culturas que se encontra em torno de 0.75.

Os valores dos componentes do balanço de energia obtidos permitiram, de maneira geral, a obtenção da distribuição da radiação solar líquida disponível nos diferentes processos do balanço de energia para a cultura da soja (Figura 2). Em média a maior parte da radiação líquida disponível foi utilizada pela evapotranspiração (72%), enquanto que uma menor quantidade foi utilizada para o aquecimento do ar (13%) e aquecimento do solo (15%).

### Resumo

O método do balanço de energia foi utilizado para estimar a distribuição da energia líquida disponível em uma cultura de soja. São apresentados os resultados da determinação quantitativa desta distribuição nos diferentes componentes do balanço de energia: evapotranspiração, e aquecimento do ar e do solo.

### Literatura citada

- BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev. Serv.* 2. Ithaca, 27:779-87. 1926.
- LEMON, E. Energy and water balance of plant communities. In: Evans, L. T. (ed.). *Environmental control of plant growth*. Nova York, Londres. Academic Press. 1963. 449 p.
- TANNER, C. B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Science Society of America Proceedings* 24:1-9. 1960.
- VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. R. e PEDRO JÚNIOR, M. J. Balanço de energia numa cultura de arroz em condições de sequeiro. *Bragantia*, 34:171-176. 1975.
- WEBB, E. K. *Aerial Microclimate*. Meteorological Monographs: 6:27-58. 1965.