

BALANÇO DE ENERGIA EM ALFAFA¹

ENERGY BALANCE IN ALFALFA

Gilberto Rocca da Cunha² e Homero Bergamaschi³

RESUMO

O balanço de energia, Método da razão de Bowen, é aplicado para a determinação da evapotranspiração de culturas, através da quantificação do fluxo de calor latente de evaporação, em intervalos de tempo iguais ou inferiores a um dia. Neste sentido, para alguns dias do verão, do outono e do inverno, foram determinados os componentes do balanço de energia em uma cultura de alfafa, cv. *Crioula*, semeada em linhas espaçadas de 0,30 m, em Eldorado do Sul-RS, em 1990. Com instrumental instalado sobre um lisímetro de balança (5,1 m² e 0,1 mm de resolução), localizado no centro da área experimental de 90 x 60 m, foram feitas medições diurnas, em intervalos de 30 minutos, envolvendo: saldo de radiação (**R_n**), fluxo de calor no solo (**S**) e gradientes de temperatura de "bulbo seco" e de "bulbo úmido", com termopares de cobre-constantan, ao nível do topo da cultura e a 0,40 m acima. A partir das medições e com base no cálculo da razão de Bowen foram determinados os fluxos de calor latente (**LE**) e sensível (**H**) na atmosfera. Em média, **R_n** foi fracionado em 86 % para **LE**, 9 % para **H** e 5 % para **S**.

Palavras-chave: Evapotranspiração, fluxo de calor latente, *Medicago sativa* L., razão de Bowen.

SUMMARY

The energy balance, Bowen ratio method, is utilised for crop evapotranspiration determination (latent heat flux) in intervals equal or shorter than one day. The energy balance components were measured in 1990 on

¹Extraído da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à UFRGS-Faculdade de Agronomia, em novembro de 1991.

²Engº Agrº, Dr., EMBRAPA-CNPT, C.P. 569, 99001-970, Passo Fundo, RS.

some Summer, Fall and winter days, in a alfalfa crop, *cv. Crioula*, sown on rows 0.30 m apart, in Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil. The equipment was placed above a weighing lysimeter (5.1 m² and 0.1 mm resolution) in the center of a 90 x 60 m plot. The following readings were taken in 30 minute intervals, during day time: net radiation (**Rn**), soil heat flux (**S**) and wet and dry temperature gradients, with copper-constantan thermo-couples at the crop top level and 0.40 m above it. Utilizing the measurements and the Bowen ratio account it was determined the latent heat flux (**LE**) and the sensible heat flux (**H**) in the atmosphere. In average, **Rn** was partitioned in 86 % for **LE**, 9 % for **H** and 5 % for **S**.

Key words: Evapotranspiration, latent heat flux, *Medicago sativa* L., Bowen ratio.

INTRODUÇÃO

Informações sobre evapotranspiração de culturas, em um nível de refinamento temporal da ordem de um dia, ou mesmo horário, geralmente tem sido obtidas pelo emprego de métodos micrometeorológicos ou via medições lisimétricas de precisão. Com esta finalidade, o balanço de energia (Método da razão de Bowen) foi utilizado por TANNER (1960), VILLA NOVA (1973), PERRIER et al (1976), PEDRO JÚNIOR (1977), ANDRÉ & VISWANADHA (1986), NISHIMURA et al (1986), ALFONSI et al (1986), PRATES et al (1987), BERGAMASCHI et al (1988), CUNHA et al (1989), MEDEIROS (1990) e FONTANA et al (1991), entre outros.

O método do balanço de energia se fundamenta no princípio da conservação da energia. No caso de sistemas cultivados, dependendo da representatividade temporal e espacial, alguns componentes podem ser desprezados, resultando na equação geral composta pelo saldo de radiação (**Rn**), fluxo de calor latente (**LE**) e sensível (**H**) na atmosfera e pelo fluxo de calor sensível no solo (**S**), conforme TANNER (1960), TANNER & LEMON (1962) e VILLA NOVA (1973).

A solução da equação do balanço de energia (**Rn + LE + H + S = O**) é obtida através de medições do saldo de radiação (**Rn**) e do fluxo de calor no solo (**S**) e de estimativas dos fluxos turbulentos **LE** e **H**, a partir da razão **H/LE**, proposta por BOWEN (1926), determinada via medições de gradientes psicrométricos sobre a cultura.

Muito embora exista uma série de limitações ao emprego do método da razão de Bowen como estimador de evapotranspiração de culturas, destacando-se os erros devidos à sensibilidade e à calibração

instrumental, os erros inerentes às suposições teóricas utilizadas para o cálculo da razão de Bowen e os erros causados pela advecção de energia (FUCHS & TANNER, 1970, VILLA NOVA, 1973 e ANGUS & WATTS, 1984), este método tem sido amplamente empregado (locais e culturas), particularmente no Brasil.

Neste contexto, realizou-se um estudo com a cultura da alfafa, *cv. Crioula*, sem limitação hídrica no solo, visando quantificar os componentes do balanço de energia, em condições diferenciadas de demanda evaporativa da atmosfera no sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), localizada em Eldorado do Sul-RS (latitude: 30°05'S, longitude: 51°39'W e altitude: 46 m).

O clima da região é subtropical úmido com verão quente (**Cfa**), conforme a classificação de Köppen e o solo da área pertence à Unidade de Mapeamento Arroio dos Ratos, consistindo em um Plintossolo.

A cultura utilizada foi a alfafa (*Medicago sativa* L.), *cv. Crioula*, de primeiro ano, semeada em 09/06/89, em uma área experimental de 90 x 60 m, com linhas espaçadas de 0,30 m, cujos detalhes de preparo do solo, semeadura, adubação, manejo de cortes e de controle de pragas e plantas daninhas, podem ser encontrados em CUNHA (1991).

As determinações dos componentes do balanço de energia foram feitas em três dias do verão, dois do outono e três do inverno de 1990, com o instrumental disposto sobre um lisímetro de balança mecânica (5,1 m² e 0,1 mm de resolução), descrito por BERGAMASCHI et al (1991), instalado no centro da área experimental.

Visando assegurar a evapotranspiração da alfafa em nível máximo (**ET_m**), no interior e nas cercanias do lisímetro, o potencial da água no solo foi monitorado com tensiômetros de coluna de mercúrio nas profundidades de 0,15 e 0,30 m, sendo mantido com valores superiores a -0,06 MPa, através da precipitação pluvial ou, na ausência desta, via irrigação por aspersão.

As medições micrometeorológicas foram feitas em intervalos de 30 minutos, durante um período compreendido entre 7 h 30 min e 18h 30 min, em cada dia de observação, através de um sistema composto de uma chave comutadora e um microvoltímetro, englobando as seguintes variáveis: saldo de radiação (**R_n**), com um saldo-radiômetro Phillip Schenk, instalado a 1,5 m acima da superfície da cultura; fluxo de calor no solo (**S**), com duas placas medidoras de fluxo de calor no solo Middleton, instaladas a 0,01 m de profundidade e distantes 0,075 m da fileira de plantas; temperatura do ar de "bulbo seco" (**TS**) e de "bulbo úmido" (**TU**), com psicrômetros de pares termoeletrônicos de cobre-constantan número 22 AWG (um seco e um umedecido por uma

gaze embebida em água destilada), montados em micro-abrigos de PVC branco e instalados ao nível do topo da cultura e a 0,40 m acima da mesma.

A partir das medições instantâneas de **Rn**, **S**, **TS** e **TU** e considerando-se a equação simplificada do balanço de energia de um sistema cultivado (equação 1), foram calculados os fluxos turbulentos de calor latente (**LE**) e sensível (**H**) na atmosfera, empregando-se o método da razão de Bowen (**B**), através das equações 3 e 4, respectivamente.

$$Rn + LE + H + S = 0$$

$$B = \frac{H}{LE} \quad (2)$$

$$LE = - \left(\frac{Rn + S}{1 + B} \right) \quad (3)$$

A razão de Bowen (**B**) foi determinada a partir da equação apresentada por WEBB (1965):

$$H = -(Rn + LE + S) \quad (4)$$

$$B = \left(\frac{s + g}{g} \cdot \frac{\Delta TU}{\Delta T} - 1 \right)^{-1} \quad (5)$$

onde, ΔTU e ΔT são as diferenças de temperaturas entre os termopares úmidos e entre os termopares secos, respectivamente, nos dois níveis considerados, sendo o coeficiente $[(s + \gamma)/\gamma]$ obtido em função da temperatura média úmida entre os dois níveis.

O coeficiente $[(s + \gamma)/\gamma]$ foi calculado considerando-se a constante psicrométrica (γ) de 0,66 mb/°C e a equação da tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água no ar (**s**) (mb/°C), em função da temperatura (**T**), apresentada por WRIGHT (1982):

$$s = 33,8639 [0,05904(0,00738 T + 0,8072 \bar{y}^7 - 3,42 \cdot 10^{-5})] \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes do balanço de energia para alguns dias do verão, do outono e do inverno, configurando o fracionamento do saldo de radiação sobre a cultura da alfafa nas formas de calor latente e sensível, encontram-se na Tabela 1. Constatou-se o efeito da época do ano, das condições atmosféricas e das características da superfície da cultura sobre a magnitude de **Rn**. O valor de **Rn**, durante o verão, variou de 9,61 a 16,82 MJ.m⁻².dia⁻¹, em condições de dia parcialmente nublado (08/02/90) e claro (07/02/90), respectivamente. Por sua vez, no período de inverno, variou de 8,33 MJ.m⁻².dia⁻¹ em 31/08/90 (dia parcialmente nublado), a 12,20 MJ.m⁻².dia⁻¹, em 29/08/90 (dia claro).

A influência do grau de cobertura do solo, inferida em função do número de dias após o corte (**DAC**), sobre o fluxo de calor no solo (**S**) pode ser observada, pela Tabela 1, confrontando-se os dias 07, 08 e 09 de fevereiro de 1990, variando de 9 a 11 dias após o corte, com os demais dias, variando de 47 a 50 dias após o corte. Constatou-se que, em módulo, nas observações de fevereiro de 1990 o fluxo de calor no solo foi superior aos demais dias, igualando-se ou superando o fluxo de calor sensível na atmosfera (**H**), fato não constatado nos outros períodos de observação. Valores de fluxo de calor no solo, integrados no período diurno, superiores, em módulo, ao fluxo de calor sensível na atmosfera, também foram observados por ALFONSI et al (1986) em milho e por FONTANA et al (1991) em soja.

Na resolução da equação simplificada do balanço de energia, o menor grau de incerteza nos valores dos fluxos constantes na Tabela 1 e Figuras 1, 2, 3 está associado ao saldo de radiação (**Rn**) e ao fluxo de calor no solo (**S**), tendo em vista que os mesmos foram medidos diretamente. Nestes, a incerteza pode estar relacionada aos erros inerentes à calibração instrumental, resolução do sistema de medição e variabilidade amostral, pois **Rn** foi obtido sem repetição e **S** com duas repetições. Por outro lado, na quantificação dos fluxos turbulentos de calor latente (**LE**) e sensível (**H**) na atmosfera, reside o maior grau de incerteza, pois os mesmos são afetados pelo atendimento ou não das pressuposições teóricas subjacentes ao método da razão de Bowen, utilizado na sua estimativa, além de integrarem os demais componentes, como armazenamento de calor, fotossíntese, etc., desprezados na equação simplificada do balanço de energia.

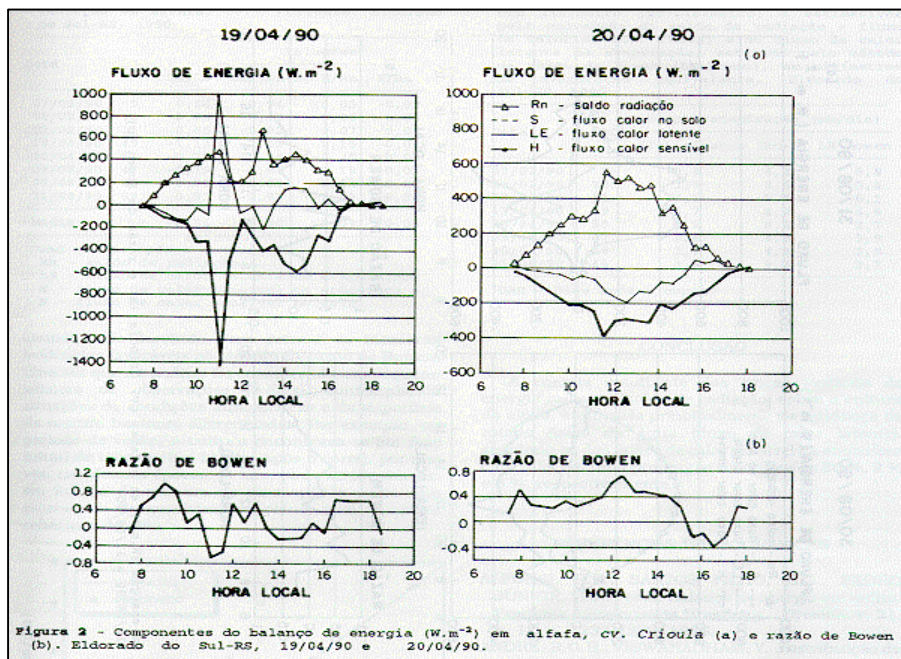
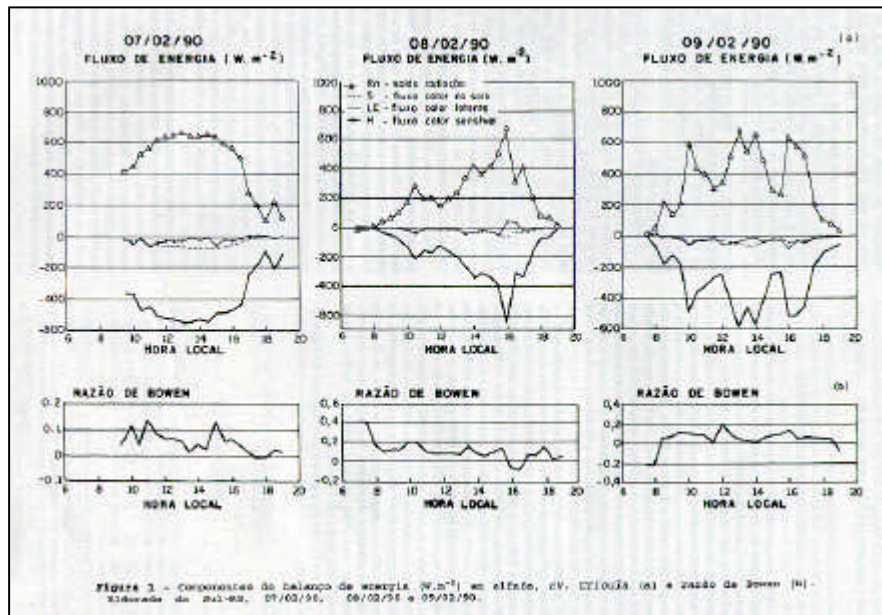
Tabela 1 - Componentes do balanço de energia ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em alfafa, cv. Crioula. Eldorado do Sul-RS, 1990

Data	DAC ¹	Componentes ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)			
		Rn	LE	H	S
07/02/90	9	16,82	-14,40	-0,84	-1,58
08/02/90	10	9,61	-8,27	-0,58	-0,76
09/02/90	11	14,74	-12,66	-1,04	-1,04
19/04/90	49	10,45	-11,85	1,53	-0,13
20/04/90	50	9,20	-6,65	-2,33	-0,22
29/08/90	47	12,20	-9,67	-2,16	-0,37
30/08/90	48	11,95	-9,73	-1,68	-0,54
31/08/90	49	8,33	-6,72	-1,11	-0,50

¹ DAC - dias após o corte;
Rn - saldo de radiação;
LE - fluxo de calor latente de evaporação;
H - fluxo de calor sensível na atmosfera e
S - fluxo de calor sensível no solo.

O comportamento instantâneo dos fluxos, juntamente com a variação nos valores da razão de Bowen, durante o período diurno, podem ser visualizadas nas Figuras 1, 2 e 3. Constata-se a forte influência do saldo de radiação (**Rn**) sobre a variação do fluxo de calor latente de evaporação (**LE**), bem como o efeito associado sobre este do fluxo de calor sensível (**H**) positivo, em momentos nos quais a razão de Bowen se apresentou negativa. Comportamento similar de fluxos instantâneos e de flutuação da razão de Bowen foram observados em outros trabalhos que empregaram o balanço de energia na Região Sul do Brasil, CUNHA et al (1989) em milho, MEDEIROS (1990) em milheto forrageiro e FONTANA et al (1991) em soja.

Valores da razão de Bowen negativos determinam, em nível instantâneo, $LE > (Rn + S)$, indicando o aporte de uma fonte adicional de calor no processo de mudança do estado físico da água. Nas Figuras 1, 2 e 3 observa-se valores da razão de Bowen inferiores a zero, em diferentes momentos do dia, particularmente no início da manhã e no final da tarde, como nos dias 07/02/90 e 09/02/90 (Figura 1), podendo o aporte de calor sensível para a superfície ter-se originado pela inversão térmica decorrente do resfriamento ocasionado pela emissão efetiva terrestre, conforme discutido por CUNHA et al (1989) ou nas horas mais quentes do dia, como em 19/04/90, 20/04/90, 29/08/90, 30/08/90 e 31/08/90 (Figuras 2 e 3), atestando, de acordo com BLAD & RESONBERG (1974), aporte de energia advectiva ao sistema.



As razões de fracionamento do saldo de radiação (**Rn**) nos fluxos de calor latente (**LE**), calor sensível na atmosfera (**H**) e calor sensível no solo (**S**) encontram-se na Tabela 2. Constata-se que, em média, **Rn** foi consumido em 86 % para **LE**, 9 % para **H** e 5 % para **S**. Esta ordem de grandeza, com predomínio de utilização de **Rn** em **LE**, seguindo-se, em menor escala, em **H** e **S**, tem sido o padrão nas determinações do balanço de energia que empregaram o método da razão de Bowen, com variações decorrentes de culturas e locais diferentes, conforme se observa em VILLA NOVA (1973), em arroz, PEDRO JÚNIOR (1977), ANDRÉ & VISWANADHAM (1986) e FONTANA et al (1991), em soja, BERGAMASCHI et al (1988), em feijoeiro, CUNHA et al (1989), em milho e MEDEIROS (1990), em milheto forrageiro.

Tabela 2 - Razões de fracionamento do saldo de radiação em alfafa, cv. Crioula. Eldorado do Sul-RS, 1990

Data	DAC ¹	Relações			
		LE/Rn	LE/(Rn+S)	H/Rn	S/Rn
07/02/90	9	-0,86	-0,94	-0,05	-0,09
08/02/90	10	-0,86	-0,93	-0,06	-0,08
09/02/90	11	-0,86	-0,92	-0,07	-0,07
19/04/90	49	-1,13	-1,15	0,15	-0,01
20/04/90	50	-0,72	-0,74	-0,25	-0,02
29/08/90	47	-0,79	-0,82	-0,18	-0,03
30/08/90	48	-0,81	-0,85	-0,14	-0,05
31/08/90	49	-0,81	-0,86	-0,13	-0,06
Média		-0,86	-0,90	-0,09	-0,05

¹DAC - dias após o corte;
Rn - saldo de radiação;
LE - fluxo de calor latente de evaporação;
H - fluxo de calor sensível na atmosfera e
S - fluxo de calor sensível no solo.

Os valores da evapotranspiração da alfafa, medidos com lisímetro de balança (**ET-lisímetro**), e estimados em função do fluxo de calor latente de evaporação (**LE-Bowen**), bem como os limites impostos pelos fluxos verticais de energia radiante e de calor sensível no solo (**Rn + S**), integrados no período diurno, encontram-se na Tabela 3.

A análise da Tabela 3, conjuntamente com o diagrama de dispersão de pontos, relacionando **LE-Bowen** com **ET-Lisímetro** (Figura 4), demonstra uma tendência de **LE-Bowen** em superestimar o consumo de água da alfafa (**ET-Lisímetro**).

Na Tabela 3, os dias 19/04/90 e 31/08/90 atestam o comportamento anômalo das estimativas de **LE-Bowen**, em relação às medições **ET-Lisímetro**. Para o dia 19/04/90, **LE-Bowen** (4,8 mm) mostra o aporte de uma fonte secundária de energia, em relação a (**Rn + S**) (4,2 mm), que não foi ratificada por **ET-Lisímetro** (3,7 mm). Ao contrário, em 31/08/90, **ET-Lisímetro** (3,9 mm) indicou outra fonte de energia, em adição a (**Rn + S**) (3,2 mm), que não foi confirmada por **LE-Bowen** (2,7 mm). Deste modo, constata-se que estes resultados não confirmam a eficiência do método da razão de Bowen como estimador de evapotranspiração, contrariando os trabalhos de TANNER (1960), BLAD & ROSENBERG (1974) e PERRIER et al (1976), entre outros. Todavia, este resultado deve ser visto com cautela, não servindo para refutar as inúmeras evidências favoráveis ao método da razão de Bowen, uma vez que na análise foi considerado um pequeno número de observações (8 dias), contemplando situações de condições atmosféricas e da superfície da cultura bastante diferenciadas. Por exemplo, no período de verão, a cultura encontrava-se em fase inicial de rebrote (9 a 11 dias após o corte), por sua vez, nas demais épocas do ano, pode-se considerar, em função do número de dias após o corte, que estava

sob desenvolvimento pleno, com completa cobertura do solo.

Tabela 3 - Evapotranspiração da alfafa medida com lisímetro (ET-Lisímetro) e estimativas pela conversão do saldo de radiação + fluxo de calor no solo (Rn+S) e do fluxo de calor latente de evaporação, estimado pelo método da razão de Bowen (LE-Bowen), em milímetros de evaporação equivalente. Eldorado do Sul-RS, 1990

Data	DAC ¹	Evapotranspiração (mm/dia)		
		ET-Lisímetro (Rn+S)	LE-Bowen	
07/02/90	9	3,3	6,2	5,8
08/02/90	10	2,7	3,6	3,4
09/02/90	11	3,1	5,6	5,1
19/04/90	49	3,7	4,2	4,8
20/04/90	50	3,2	3,6	2,7
29/08/90	47	2,6	4,8	3,9
30/08/90	48	3,9	4,6	3,9
31/08/90	49	3,9	3,2	2,7

¹DAC - Dias após o corte.

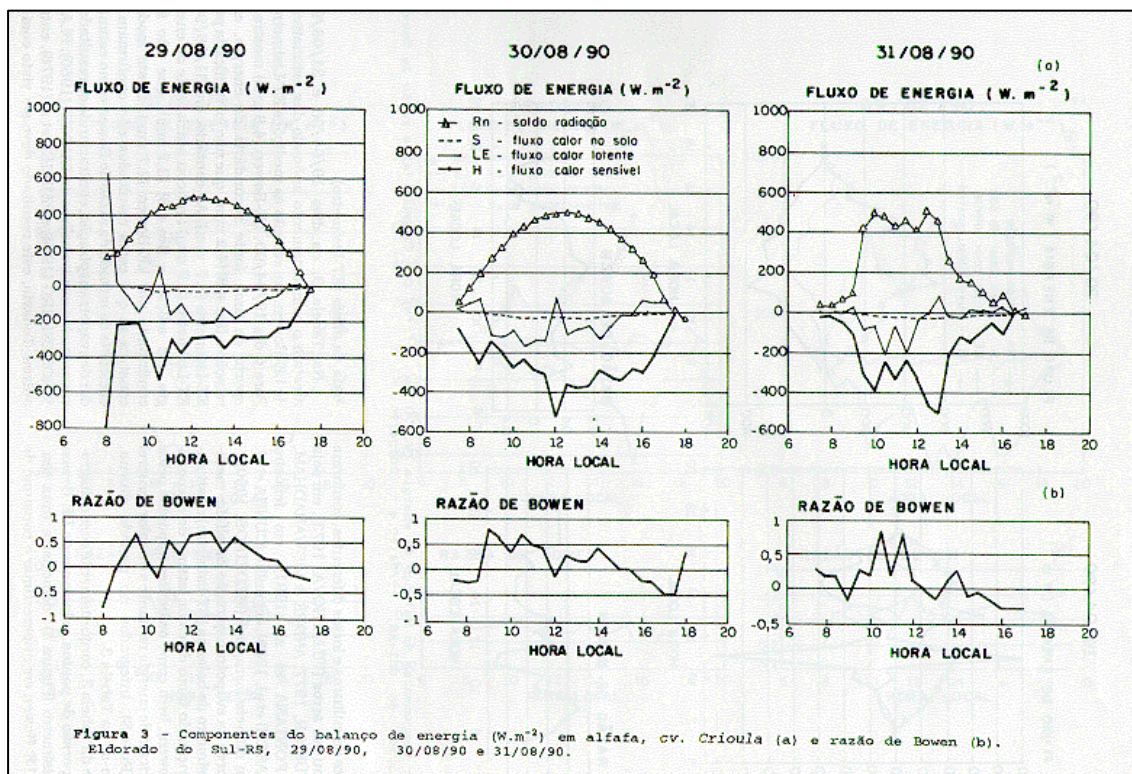
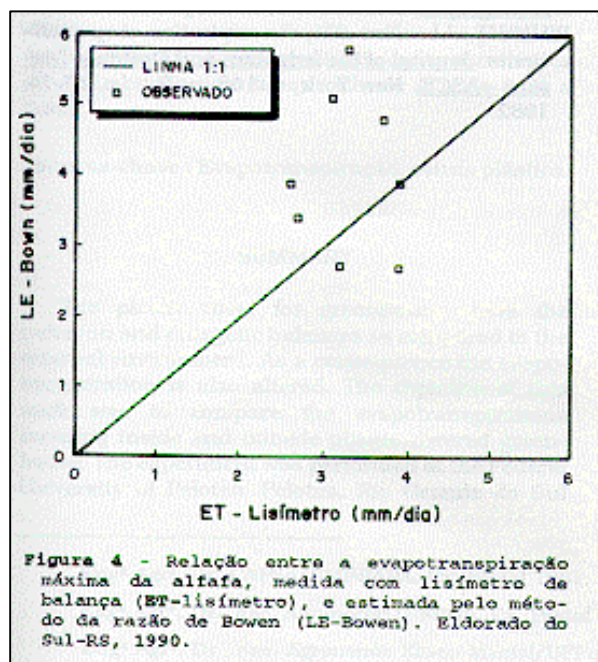


Figura 3 - Componentes do balanço de energia ($W \cdot m^{-2}$) em alfafa, cv. Crioula (a) e razão de Bowen (b). Eldorado do Sul-RS, 29/08/90, 30/08/90 e 31/08/90.



CONCLUSÃO

A energia resultante das trocas verticais de energia radiante (saldo de radiação) sobre a cultura da alfafa, é utilizada principalmente na mudança de estado físico da água (fluxo de calor latente), seguindo-se dos fluxos de calor sensível na atmosfera e no solo, em uma proporção da ordem de 86%, 9% e 5%, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R.R., SANTOS FILHO, B.G., PEDRO JÚNIOR, M.J.P. et al. Balanço de energia em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.12, p.1233-1235, 1986.
- ANDRÉ, R.G.B., VISWANADHAM, Y. Distribuição de energia numa cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, v.1, n.1, p.20-37, 1986.
- ANGUS, D.E., WATTS, P.J. Evapotranspiration-how good is the Bowen ratio method. In: SHARMA, M.L. ed. **Evapotranspiration from plant communities**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1984. p.133-150.
- BERGAMASCHI, H., OMETTO, J.C., VIEIRA, H.J. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro II. Balanço de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.7, p.745-757, 1988.

- BERGAMASCHI, H., SANTOS, M.L.V., MEDEIROS, S.L.P. et al. Instalação e uso de um lisímetro de balanço no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, VII, 1991, Viçosa, MG. **Resumos.**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa, 1991. 314p. p.176-177.
- BLAD, B.L., ROSENBERG, N.J. Lysimetric calibration of the Bowen ratio-energy balance method for evapotranspiration estimation in the central Great Plains. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.13, n.2, p. 227-236, 1974.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, New York, v.27, p.779-787, 1926.
- CUNHA, G.R. **Evapotranspiração e função de resposta à disponibilidade hídrica em alfafa**. Porto Alegre, 1991, 197p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.
- CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Balanço de energia em cultura de milho: estudo de casos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, VI, 1989, Maceió, AL. **Anais**, São José dos Campos: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. 491p. p.417-426.
- FONTANA, D.C., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.3, p.403-410, 1991.
- FUCHS, M., TANNER, C.B. Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.7, p.329-334, 1970.
- MEDEIROS, S.L.P. **Trocas verticais de energia e vapor d'água em cultura de milho** (*Pennisetum americanum*, L. Leek). Porto Alegre, 1990, 112p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990.
- NISHIMURA, T., ALMEIDA, A., ANDRÉ, R.G.B. et al. Balanço de energia numa cultura de milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, IV, 1985, Londrina, PR. **Anais.**, Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1986. 344p. p.83-92.
- PEDRO JÚNIOR, M.J. **Balanço de energia em soja** (*Glycine max* L. Merrill). Piracicaba, 1977, 82p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agronomia Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1977.
- PERRIER, A., ITIER, B., BERTOLONI, J.M. et al. New device for continuous recording of the energy balance of natural surfaces. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.16, p.71-84, 1976.
- PRATES, J.E., COELHO, D.T., STEINMETZ, S. et al. Relação entre os componentes do balanço de energia

em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz (*Oryza sativa* L.) de sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, V, 1987, Belém, PA. **Coletânea de Trabalhos...**, Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. 518p. p.333-336.

TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v.24, n.1, p.1-9, 1960.

TANNER, C.B., LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v.54, p.207-212, 1962.

VILLA NOVA, N.A. **Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz**. Piracicaba, 1973, 89p. Tese (Livre Docência), Escola Superior de Agronomia Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1973.

WEBB, E.K. Aerial microclimate. **Meteorological Monographs**, Boston, v.6, n. 28, p.27-58, 1965.

WHIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of the Irrigation and Drainage Division - ASCE**, New York, v. 108, n. 2, p. 57-74, 1982.