

BALANÇO DE ENERGIA DE UMA ÁREA DE SOJA, SOB PLANTIO DIRETO, PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN

FELIPE GUSTAVO PILAU¹, JOSÉ RENATO BOUÇAS FARIAS², IVAN RODRIGUES
DE ALMEIDA³ FÁBIO RICARDO MARIN⁴

¹ Eng. Agrônomo, Dr. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP. felipe@cnptia.embrapa.br. Bolsista CNPq.

² Eng. Agrônomo, Dr. Pesquisador. Embrapa Soja, Londrina - PR. jrenato@cnpsso.embrapa.br

³ Geógrafo, Dr. Técnico Embrapa Soja, Londrina – PR. ira@cnpsso.embrapa.br

⁴ Eng. Agrônomo, Dr. Pesquisador. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas - SP. marin@cnptia.embrapa.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 –
Aracaju – SE

RESUMO: O conhecimento da partição dos fluxos energéticos em sistemas agrícolas conduz ao desenvolvimento e uso de métodos micrometeorológicos de estimativa, tal como o método do balanço de energia - razão de Bowen, baseado na conservação e relação dos fluxos de energia de um meio para o outro pelo calor sensível e latente. O estudo foi desenvolvido em uma área de soja sob plantio direto na palhada. Medidas micrometeorológicas foram realizadas com um par de psicômetros aspiados, duas placas de fluxo de calor no solo, e um saldo radiômetro. A partir do método da razão de Bowen determinou-se a partição do saldo de radiação (Rn) nos fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G). Do Rn, em média, o fluxo de calor latente consumiu 76,8%. Do restante, 20,8% foram gastos na forma de calor sensível e apenas 2,27% como fluxo de calor no solo. A diferença entre as razões H/Rn e G/Rn obtidas, frente aos dados de literatura, possivelmente são decorrentes do sistema de produção sob plantio direto na palhada, ficando como incógnita o impacto que essa alteração do balanço de energia poderia provocar fisiologicamente na cultura da soja, principalmente em relação a resistência estomática.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*, plantio direto, micrometeorologia.

ENERGY BALANCE OF A SOYBEAN AREA, NO TILLAGE, BY THE RATIO BOWEN METHOD

ABSTRACT: The knowledge of the energy flows partition in agricultural systems leads to develop and use estimative micrometeorological methods, as the energy balance method – Bowen Ratio, based on the conservation and relation of the energy flows of a way for another by the sensible and latent heat. The study was carry out in a soybean area, no tillage. Micrometeorological measures had been carried through a pair psicometers, two heat flow soil plates and a net radiometer. From the Bowen Ratio method had been determined the net radiation (Rn) partition on latent heat flow (LE), sensible (H) and in soil (G). From Rn, on average, latent heat flow consumed 76.8%. From remaining portion, 20,8% with sensible heat flow and only 2,27% as soil heat flow. The difference between H/Rn e G/Rn determined ratios, facing literature data, are possible results from no tillage system, pointing as question the impact this energy balance change could affect soybean plants physiology, mainly relate to stomatal resistance.

KEYWORDS: *Glycine max*, no tillage, micrometeorology.

INTRODUÇÃO: A necessidade de informações micrometeorológicas dos cultivos agrícolas tal como a determinação e partição dos fluxos de energia recaem sobre em métodos micrometeorológicos de estimativa, tal como o método do balanço de energia - razão de Bowen (BOWEN, 1926; LEWIS, 1995). Baseado na conservação e relação dos fluxos de

energia de um meio para o outro pelo calor sensível e latente, a equação geral do método é composta pelo saldo de radiação (Rn), fluxos de calor latente e sensível na atmosfera e pelo fluxo de calor sensível no solo (S), desprezando alguns componentes como a energia consumido pelo processo fotossintético (F), conforme TANNER (1960), TANNER & LEMON (1962) e VILLA NOVA (1973) e PEREIRA et al., (1997). O método tem sido avaliado nos mais diversos ambientes, elegendo uma ampla gama de culturas (VILLA NOVA, 1973; PEDRO JÚNIOR, 1977; ALFONSI et al., 1986; BERGAMASCHI et al., 1988, MEDEIROS, 1990; MALEK, 1992; MARIN, 2000; TEIXEIRA et al., 2002; MARIN, 2003; RIGHI, 2004), e embora exista uma série de limitações ao seu emprego como método na estimativa da evapotranspiração de culturas, relatando principalmente quanto a sensibilidade e calibração da instrumentação e erros inerentes as suposições teóricas utilizadas para o cálculo da razão de Bowen e os erros causados pela advecção de energia (FUCHS & TANNER, 1970, VILLA NOVA, 1973; ANGUS & WATTS, 1984), boas correlações entre evapotranspiração estimada e medida por lisímetros são obtidas (MALEK, 1993; AZEVEDO, 1999; SILVA, 2000; RIGHI, 2004). Assim, o objetivo desse trabalho foi quantificar a partição da energia líquida pelo método da Razão de Bowen em uma área cultivada com soja sob sistema de plantio direto na palhada, em Londrina, PR.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado em uma área experimental de Embrapa Soja, situada no município de Londrina, Paraná, (23°11'S; 51°11'O e 597m). O clima da região conforme classificação de Köppen é o tipo Cfa, clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geados pouco freqüentes, com tendência de concentração com chuvas nos meses de verão e temperatura média de 21°C. A área experimental foi semeada em 05 de dezembro de 2005 com soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivar Coodetec - CD206, em espaçamento de 0,50 m entre linhas e 15-18 plantas por metro linear, num bloco de 0,28ha, inserido numa lavoura de soja com cerca de 2ha. A adubação foi realizada no momento da semeadura, utilizando 250kg ha⁻¹ do adubo granulado formula 0-28-20. O controle de ervas daninhas e os tratamentos fitossanitários foram realizados sempre que necessários, seguindo recomendações técnicas existentes. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico. Os sensores de medidas micrometeorológicas para cálculo da razão de Bowen foram instalados em uma torre no centro da área experimental, sendo os dados coletados por um sistema automático de aquisição (Campbell Sci., CR21X), com medidas a cada segundo, totalizando médias a cada 15 minutos. Para medida do saldo de radiação (Rn), instalou-se um saldo-radiômetro, (REBS, Q7), posicionado a 2m acima superfície do solo. Duas placas (REBS, HTF 3.1) foram instaladas para a medida do fluxo de calor no solo, uma na linha de semeadura e outra na entrelinha, enterradas a 2cm de profundidade. Para as medidas dos gradientes de temperatura e pressão de vapor foram utilizados dois psicômetros ventilados (MARIN et al., 2001), posicionados nas alturas de 0,65m e 1,65m acima da superfície do solo. A razão de Bowen ($\beta = H/LE$) foi estimada a partir de uma relação que leva em conta apenas as temperaturas do bulbo úmido e bulbo seco e de um fator de ponderação W dependente da temperatura do ar e coeficiente psicrométrico, conforme descrito em PEREIRA et al. (1997) e mostrada na equação (1).

$$\beta = \left[\frac{\Delta Tu}{(1 - W)\Delta Ts} - 1 \right]^{-1} \quad (1)$$

em que ΔTu é a diferença de temperatura do bulbo úmido (°C) e ΔTs é a diferença de temperatura do bulbo seco (°C), entre as alturas de 0,65m e 1,65m acima da superfície do solo. No desenvolvimento físico-teórico da equação (1) são empregados conceitos de similaridade no transporte das propriedades atmosféricas, sendo que o fator W (adimensional) foi calculado a partir das equações propostas por WILSON & ROUSE (1972) e VISWANADHAN et al. (1991), citados por PEREIRA et al. (1997):

$$W = 0,407 + 0,0145Tu, \text{ para } 0 < Tu \leq 16^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$W = 0,483 + 0,01Tu, \text{ para } 16,1 < Tu \leq 32^\circ\text{C} \quad (3)$$

em que Tu é a temperatura média do bulbo úmido ($^\circ\text{C}$) entre as alturas de 0,65m e 1,65m.

A equação do balanço de energia, para uma vegetação de pequeno porte, pode ser descrita pela equação (4):

$$LE = (Rn-G)/\lambda(1+\beta) \quad (4)$$

em que Rn é o saldo de radiação; G é o fluxo de calor no solo. Nos casos em que $\beta < -0,75$, ET foi calculado a partir da energia disponível ($Rn-G$), assumindo que toda energia era convertida em calor latente, desconsiderando os processos advectivos, pois nessas condições as estimativas de LE tornam-se inviáveis já que os valores de β perdem seu significado físico (PEREZ et al., 1999). Além disso, valores de β próximos de -1 ocorrerem durante o nascer e o pôr-do-sol, quando as direções dos gradientes de temperatura e pressão de vapor são opostas, e durante as precipitações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Figura 1 estão apresentados os componentes do balanço de energia, fracionando o saldo de radiação diário (Rn) em calor latente (LE), calor sensível (H) e calor no solo (G), ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja. Em função das condições meteorológicas o saldo de radiação da variou entre o valor máximo de $16,66 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (15/03/2006), dia de céu claro, com valor crescente de Rn no período da manhã, atingindo o máximo de $0,617 \text{ MJ m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$ as 12:45 horas, reduzindo no período da tarde (Figura 2a), e mínimo de $3,68 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (06/04/2006), dia de céu encoberto, provocando oscilações temporais do saldo de radiação diurno, com valor máximo de $0,208 \text{ MJ m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$ as 10:45 horas (Figura 2b). Apesar da ampla diferença dos valores de saldo de radiação nas condições de céu claro (Figura 2a) e céu encoberto (Figura 2b), a repartição da energia se deu de forma similar. No dia 15/03/2006, correspondente ao 100 dia do ciclo de desenvolvimento da soja, momento em que índice de área foliar médio era de 2,7, dos $16,66 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ absorvidos pelo sistema, 78,1% foi utilizado no processo de mudança de estado físico da água (LE), 13,5% no aquecimento do ar (H) e 8,4% no aquecimento do solo (G). Da radiação líquida de $3,68 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ retida em 06/04/2006, momento em que a cultura totaliza 122 dias de desenvolvimento, período de senescência da área foliar, apesar de inferior a condição anterior (Figura 2a) o maior gasto de energia novamente se deu na forma de calor latente (LE), 75,3%, com um aumento da porcentagem de energia gasta com aquecimento do ar (H), 21%, e redução da energia absorvida pelo solo (G), 3,7%. Resposta similar dos fluxos de do balanço de energia foram observadas em áreas cultivadas com alfafa, milho e soja (CUNHA & BERGAMASCHI, 1994; MEDEIROS, 1990; FONTANA et al., 1991).

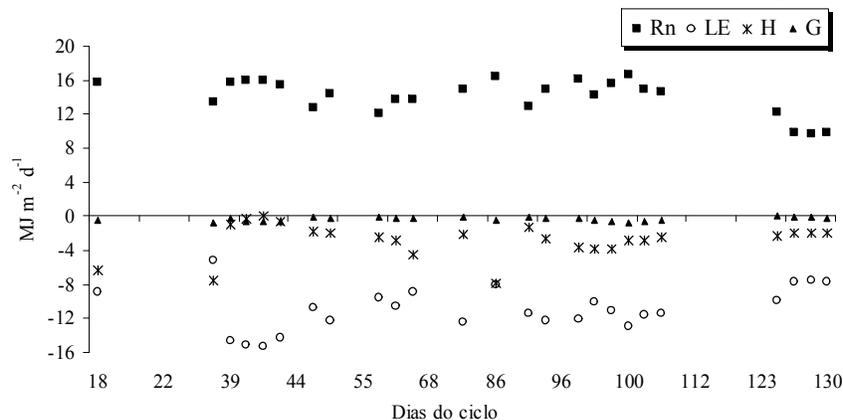


Figura 1. Componentes do balanço de energia ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) em uma área cultivada com soja, sob plantio direto, no município de Londrina, PR, na safra 2005/2006.

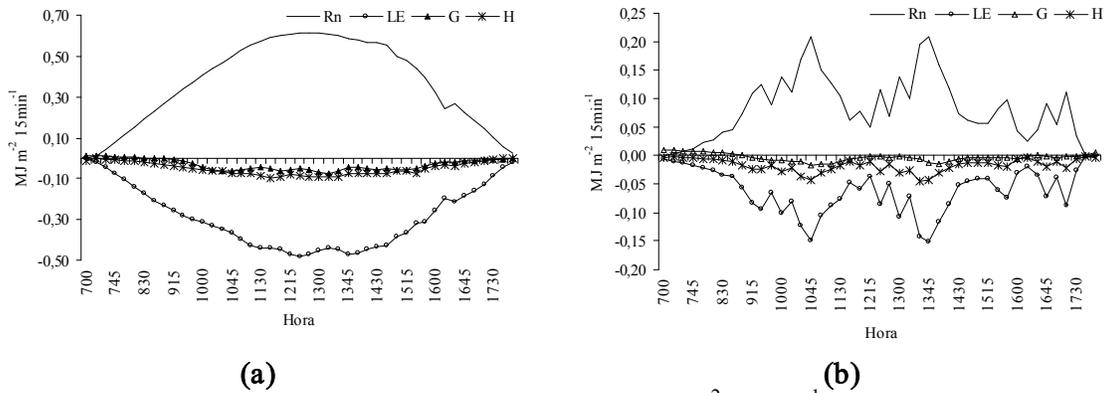


Figura 2. Componentes do balanço de energia diurno ($\text{MJ m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$) em uma área cultivada com soja, sob plantio direto, no município de Londrina, PR, nos dias 15/03/2006 (a) e 06/04/2006 (b).

Com relação ao fracionamento do saldo de radiação, em média, o fluxo de calor latente (LE) consumiu 76,8% da energia radiante absorvida (Rn), muito próximo aos 78% da relação LE/Rn relatados por FONTANA et al., (1991) para um cultivo de soja irrigada no Estado do Rio Grande do Sul, entre outros cultivos (BERGAMASCHI et al. 1988; CUNHA et al., 1989; CUNHA & BERGAMASHI, 1994). Já a relação média entre o fluxo de calor sensível e o saldo de radiação (H/Rn), de 20,8%, supera a relação encontrada por esses autores, observando-se uma pequena quantidade de energia, apenas 2,22%, consumida no solo (G/Rn). A diferença entre as razões H/Rn e G/Rn obtidas nesse trabalho, frente aos dados de literatura, possivelmente são decorrentes do sistema de produção sob plantio direto na palhada, ficando como incógnita o impacto que essa alteração do balanço de energia poderia provocar fisiologicamente na cultura da soja, principalmente em relação a resistência estomática.

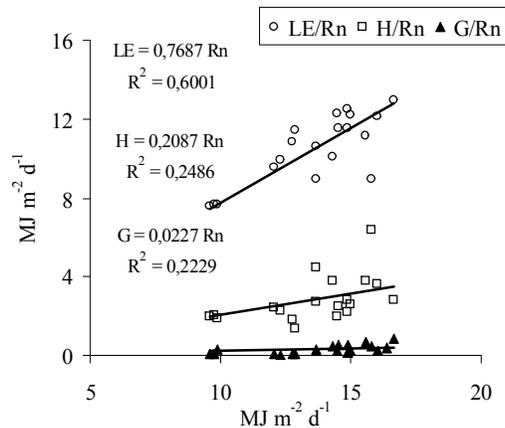


Figura 3. Fracionamento do saldo de energia radiante (Rn) de uma área cultivada com soja, sob plantio direto, nos fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e calor no solo (G), em Londrina, PR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWEN, I.S., 1926: The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physics Review**, 27, pp 779-787
- SILVA, L.D.B. DA; MARCOS V. FOLEGATTI, M.V.; VILLA NOVA, N.A. Evapotranspiração do Capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.705-712, set./dez. 2005

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.

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.

AZEVEDO, B. M. **Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos**. 1999. 81 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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.

FUCHS, M., TANNER, C.B. Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.7, p.329-334, 1970.

LEWIS, J.M. The story behind the Ratio Bowen. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.76, n.12, p.2433-2443, 1995.

MALEK, E. Night-time evapotranspiration vs. day time and 24h evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v.138, p.119-129, 1992.

MALEK, E. Rapid changes of the surface soil heat flux and its effects on the estimation of evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v.142, p.89-97, 1993.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO FILHO, M.A.; VILLA NOVA, N.A. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.839-844, 2001.

MARIN, F.R. **Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de lima ácida Tahiti**. Piracicaba. 2000. 74p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

MARIN, F.R. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. Piracicaba. 2003. 118p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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.

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.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

Righi, E. Z. **Balanço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. Piracicaba. 2004. 151p. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SILVA, F. C. **Determinação da evapotranspiração utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. Piracicaba. 2000. 72p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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

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

TEIXEIRA, A.H.C.; BASSOI, L.H.; da COSTA, W.P.L.E.B.; MOURA, J.A.; da SILVA, E.E.G. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.1, p.45-50, 2002.

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.