

## Energy balance in a pasture in the Pantanal

Diego Castanon Galeano<sup>1,\*</sup>, Marcelo Sacardi Biudes<sup>2</sup>, Victor Hugo de Moraes Danelichen<sup>2</sup>,  
Fernanda Antunes Fabian<sup>1</sup>, Máisa Caldas Souza<sup>2</sup>

### ABSTRACT

*The study of energy exchanges between a vegetated surface and atmosphere is important for identifying possible interactions between soil-plant-atmosphere, variation of climate of a region and identify effects of human activities on the environment. The objective was to estimate the energy balance by the Bowen ratio method in a pasture in the northern Pantanal during dry season. The experiment was conducted in a Brachiaria humidicola pasture at the Experimental Farm of the Universidade Federal de Mato Grosso, in Santo Antônio de Leverger - MT. The study was conducted during 5 days, between 24 and 28 September 2009, during the drought period. The Bowen ratio method is based on the conservation of energy law, expressed by the equation of energy balance. This method can estimate the latent and sensible heat flux by the measures of net radiation, soil heat flux and temperature and pressure of water vapor gradients. The energy available in the system was used mostly in the form of latent heat flux (60.49%), followed by sensible heat flux (29.7%) and the heat flux from soil (0.98%).*

**Key-words:** Energy balance, microclimate, Bowen ratio.

## Balanco de energia numa pastagem no Pantanal

### RESUMO

O estudo de trocas de energias entre uma superfície vegetada e a atmosfera é importante por possibilitar identificar as interações existentes entre solo-planta-atmosfera, conhecer a variação do clima de uma determinada região e identificar efeitos das atividades antrópicas sobre o meio. Assim, objetivou-se estimar o balanço de energia pelo método da razão de Bowen em uma área de pastagem no norte do Pantanal no período seco. O experimento foi realizado em uma área de *Brachiaria humidicola* na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Mato Grosso, no município de Santo Antônio de Leverger – MT. O estudo teve duração de 5 dias, entre 24 e 28 de setembro 2009, no período de estiagem. O método da razão de Bowen é baseado na lei de conservação de energia, expressa pela equação de balanço de energia. Esse método pode estimar o fluxo de calor latente e sensível por meio de medidas de saldo de radiação, fluxo de calor do solo e estimativa dos gradientes de temperatura e pressão de vapor d'água, medidos diretamente no local de estudo. A energia disponível no sistema foi utilizada em sua maior parte na forma de fluxo de calor latente (60,49 %), seguido pelo fluxo de calor sensível (29,7 %) e pelo fluxo de calor do solo (0,98 %).

**Palavras-chave:** balanço de energia, microclima, razão de Bowen.

\*Autor para correspondência.

<sup>1,\*</sup>Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe – UFS, 49100-000, Sergipe – SE, Brasil; galeano88@gmail.com

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, 78060-900, Cuiabá – MT, Brasil

## INTRODUÇÃO

O Pantanal é a maior planície inundada do mundo, localizando-se na interseção de quatro grandes Regiões Fitoecológicas, que regionalmente podem ser conhecidas como Mata Decídua, Mata Semidecídua, Cerrado e Chaco (Abdon et al., 2007). Nos últimos anos, vem crescendo o investimento agrícola e pecuário na região, o que antes era realizado de forma extrativista. Isso tem intensificado o uso de pastagens para a criação de bovinos (Santos e Costa, 2002). O aumento da área de pastagens ou produções agrícolas pode modificar o clima local, como aumento da temperatura, redução da precipitação e evaporação e, por sua vez, o prolongamento da estação seca (Nobre et al, 1996; Betts et al, 2007).

Estudos micrometeorológicos vêm sendo utilizados para estimar as trocas de energia e matéria de áreas naturais ou modificadas. O conhecimento sobre as características das trocas de energia no sistema solo-planta-atmosfera permite identificar as características microclimáticas locais e regionais, além disso, permite de identificar efeitos das atividades antrópicas, como atividades extrativistas e de mudança do uso solo, sobre o ambiente natural (Baldocchi et al, 1988; Oliveira et al, 2006; Biudes, 2008; Biudes et al, 2009).

O método da razão de Bowen é amplamente utilizado por possibilitar a estimativa dos fluxos de energia diretamente no campo, sem alteração do meio, por meio de medidas do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e dos gradientes de temperatura e pressão de vapor d'água do ar (Bowen, 1926; Ometto, 1981; Ibáñez, 1999; Liu e Foken, 2001; Teixeira, 2001; Betts et al, 2007; Souza et al, 2008). Com esse método é possível a realização de pesquisas com diversos objetivos envolvendo trocas de energia. Por exemplo, Souza et al. (2008) utilizaram o método de razão da Bowen para avaliar a evolução temporal dos componentes do balanço de energia e sua relação com variáveis morfológicas em cultivo de abacaxi com irrigação suplementar no estado da Paraíba e Biudes et al. (2009) estimaram a variação sazonal do balanço de energia por meio do método de razão da Bowen em uma área de vegetação dominante de Cambará no Pantanal matogrossense.

Assim sendo, objetivou-se estimar o balanço de energia em uma pastagem no norte do Pantanal em um período de seca, utilizando o método da razão de Bowen.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma pastagem homogênea na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso (15°51'15,10"S; 56°04'13,28"O), altitude de 150 m, localizado no município de Santo Antônio do Leverger – MT. O clima local é classificado como tropical subúmido (Aw) segundo Köppen, (1948) com um período seco entre abril e setembro e um período chuvoso entre outubro e março. A pastagem é predominantemente de *Brachiaria humidicola* e o solo foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico gleissólico.

No local de estudo foi instalado um mastro com os seguintes instrumentos de medida: um saldo radiômetro (Net Radiometer, Kipp & Zonen Delft, Inc., Holland) para medir o saldo de radiação; um sensor de fluxo de calor no solo (HFT-3.1, REBS, Inc., Seattle, Washington) para medir o fluxo de calor do solo; três termohigrômetros (HMP 45 C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland) para medir a temperatura e umidade relativa do ar, instalados a 0,5 m, 0,95 m e 1,4 m; e um sensor de radiação solar incidente (LI-200, Campbell Sci, Inc., USA). Os dados produzidos por pulsos elétricos dos tradutores foram armazenados no datalogger (CR 10X, Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah) em médias de 15 minutos, durante cinco dias (24 a 28 de setembro de 2009).

O balanço de energia foi estimado por meio do método da razão de Bowen, que consiste na obtenção da razão entre os fluxos de calor sensível ( $H$ ) ( $W m^{-2}$ ) e latente ( $LE$ ) ( $W m^{-2}$ ), dado pela equação (1), utilizando medidas de gradientes da temperatura e pressão de vapor d'água do ar, saldo de radiação e fluxo de calor no solo (Bowen, 1926; Ometto, 1981; Ibáñez, 1999; Liu e Foken, 2001; Teixeira, 2001; Betts et al, 2007; Souza et al, 2008).

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (1)$$

em que  $H$  é o fluxo de calor sensível ( $W m^{-2}$ ),  $LE$  o fluxo de calor latente ( $W m^{-2}$ ) e  $\beta$  é a razão de Bowen adimensional.

A razão de Bowen ( $\beta$ ) pode ser reescrita de acordo com a equação (2).

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2)$$

Em que  $\Delta T$  é a diferença de temperatura do ar entre dois níveis ( $^{\circ}C$ ),  $\Delta e$  é a diferença de pressão de vapor d'água do ar entre dois níveis (kPa) e  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $0,0626 kPa^{\circ}C^{-1}$ ).

A pressão de vapor d'água do ar atual ( $e$ , em kPa) foi calculada de acordo com a equação (3).

$$e = e_s UR_a \quad (3)$$

em que  $UR_a$  é a umidade relativa do ar (%) e  $e_s$  é a pressão de vapor d'água do ar saturado (kPa) que foi calculada de acordo com a equação (4)

$$e_s = 06108 \times 10^{\left(\frac{7,51 T_a}{237,5 + T_a}\right)} \quad (4)$$

em que  $T_a$  é a temperatura do ar (°C).

Finalmente, o fluxo de calor latente foi calculado de acordo com a equação (5).

$$LE = \frac{Rn - G}{(1 + \beta)} \quad (5)$$

em que  $Rn$  é o saldo de radiação ( $W m^{-2}$ ) e  $G$  é o fluxo de calor do solo ( $W m^{-2}$ ).

A faixa de utilização da razão de Bowen foi de -0,7 a 1,5, baseado em trabalho de Jarvis et al. (1976) (Jarvis et al, 1976). Valores fora desse intervalo foram descartados e, posteriormente, foi realizado uma regressão linear simples entre os 20 valores anteriores e posteriores a este.

A distribuição proporcional dos componentes do balanço de energia foi obtida por meio de uma regressão linear forçando a passagem da reta pelo ponto zero da função, onde o fluxo de calor do solo ( $G$ ), fluxo de calor latente ( $LE$ ), e o fluxo de calor sensível ( $H$ ), foram função do saldo de radiação  $Rn$  (equação 6). Tem-se que  $y(x)$  são as variáveis ( $LE$ ), ( $H$ ) e ( $G$ ).

$$y(x) = \mu x + b \quad (6)$$

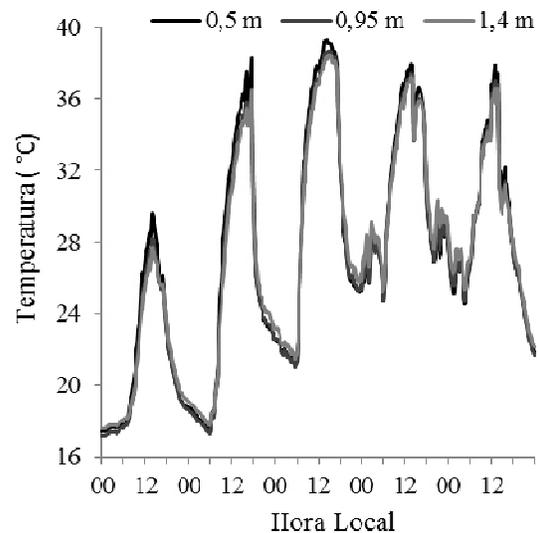
em que  $\mu$  é o coeficiente angular da reta,  $x$  é o saldo de radiação e  $b$  é o coeficiente linear da reta, o qual foi fixado em zero, forçando a passagem da reta pelo zero da função.

A energia diária de cada componente do balanço de energia ( $Rn$ ,  $G$ ,  $H$  e  $LE$ ) foi obtida por meio de integração dos valores instantâneos.

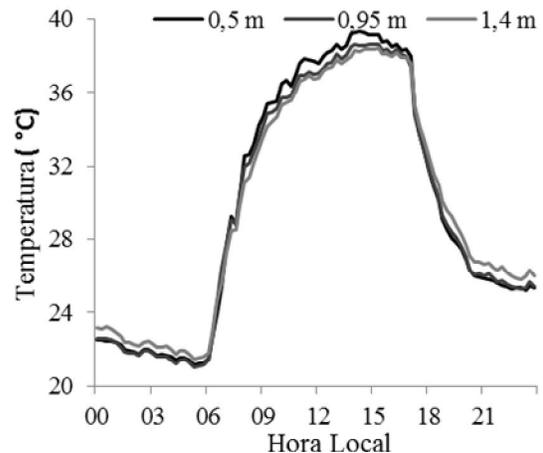
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta a variação da temperatura durante os dias 24 e 28 de setembro nas alturas de 0,5 m, 0,95 m e 1,4 m. Observa-se que os valores das temperaturas diárias aumentam durante as primeiras horas do dia até aproximadamente 12 horas e decresce ao final da tarde. Durante a noite, a variação da temperatura é pequena (Figuras 1 e 2). Isso ocorre, pois, por volta do meio dia, os raios solares se encontra mais próximo do ângulo zenital da superfície horizontal estudada, aumentando a energia incidente dos raios solares que chegam até a superfície e, assim, aumentando a temperatura no local. Durante a noite, o a

temperatura do ar medida a 0,5 m do dossel da pastagem apresentou menor valor, comparada com as temperaturas do ar medidas a 0,95 m e 1,4 m. Durante o período diurno, a temperatura do ar medida a 0,5 m do dossel da pastagem apresentou maior valor, comparada com as temperaturas do ar medidas a 0,95 m e 1,4 m. O oposto acontece com a temperatura do ar medida pelo termohigrômetro mais afastado do dossel (Figura 1), ou seja, os dados mostram que a temperatura do ar é maior no nível mais baixo durante o dia e menor durante a noite. Isso ocorre porque o aquecimento e resfriamento do solo são mais rápidos do que o do ar.

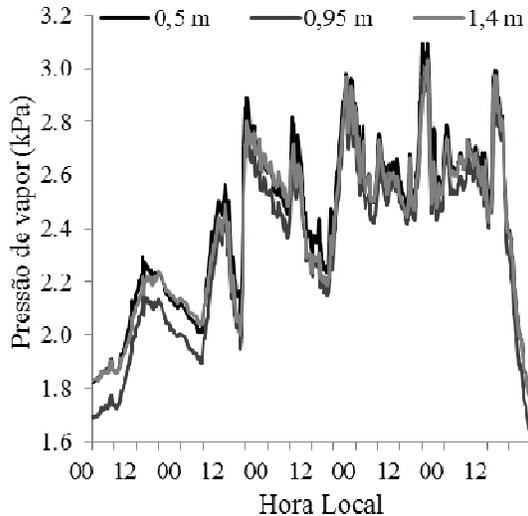


**Figura 1** – Temperatura do ar (°C) medida a 0,5 m, 0,95 m e 1,4 m sobre o dossel da pastagem entre 24 e 28 de setembro de 2009.



**Figura 2** – Temperatura do ar (°C) medida a 0,5 m, 0,95 m e 1,4 m sobre o dossel da pastagem durante o dia 26 de setembro de 2009.

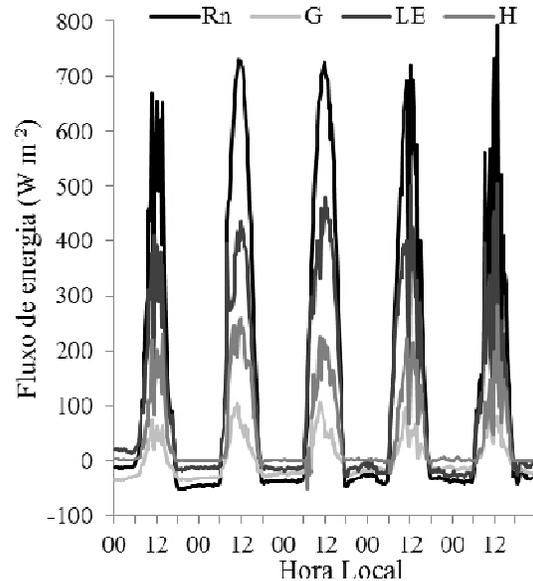
A pressão de vapor durante todo o período estudado se apresenta praticamente constante, ou seja, seu valor apresenta variações muito pequenas durante todo o período (Figura 3), apresentando uma quantidade de vapor d'água na atmosfera do local estudado praticamente constante. O valor médio da pressão de vapor d'água no ar medida pelo termohigrômetro mais próximo ao dossel (0,5 m) foi  $2,43 \pm 0,31$  kPa, enquanto que a 0,95 m foi  $2,33 \pm 0,32$  kPa, e a 1,4 m foi  $2,4 \pm 0,30$  kPa.



**Figura 3** – Pressão de vapor d'água no ar (kPa) medida a 0,5 m, 0,95 m e 1,4 m sobre o dossel da pastagem entre 24 e 28 de setembro de 2009.

A razão de Bowen foi calculada com base nos dados provenientes dos termohigrômetros instalados a 0,5 m e 0,95 m, pois os valores do fluxo de calor latente obtidos pelos dados dos termohigrômetros instalados a 0,5 m e 1,4 m, e 0,95 m e 1,4 m foram 30% e 69% menores, respectivamente, que os valores de fluxo de calor latente obtidos entre 0,5 m e 0,95 m. O mesmo aconteceu com o fluxo de calor sensível, os cálculos realizados com dados obtidos a 0,5 m e 1,4 m, e 0,95 m e 1,4 m foram 60% e 133% maiores que os valores de fluxo de calor sensível obtidos entre 0,5 m e 0,95 m.

O saldo de radiação (Rn), fluxo de calor do solo (G), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) variaram entre os 5 dias estudados (Figura 4). Os valores dos ciclos diários do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor do solo (G) apresentam aumento durante as primeiras horas do dia até aproximadamente 12 horas, e decresce até o final da tarde.



**Figura 4** – Valor horário do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor do solo (G), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) sobre o dossel da pastagem entre 24 e 28 de setembro de 2009.

Os maiores valores do saldo de radiação, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível, ocorreram no dia 28 de setembro, com valores de  $792,16 \text{ W m}^{-2}$ ,  $504,11 \text{ W m}^{-2}$  e  $281,95 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente. O maior valor do fluxo de calor do solo ocorreu no dia 26 de setembro, com valor de  $106,40 \text{ W m}^{-2}$ . Esses valores são maiores do que aqueles apresentados por Biudes et al. (2008) onde os maiores valores do ciclo médio diário do saldo de radiação durante o período de seca foi de aproximadamente  $450 \text{ W m}^{-2}$ ,  $290 \text{ W m}^{-2}$  do fluxo de calor latente,  $185 \text{ W m}^{-2}$  do fluxo de calor sensível e  $40 \text{ W m}^{-2}$  do fluxo de calor do solo.

A energia diária de cada componente do balanço de energia foi apresentada na Tabela 1. Os comportamentos diários do fluxo de calor do solo, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível, concordam com a variações diárias do saldo de radiação (Rn), sendo maior nos dias 25 e 26 e, menor, no dia 24, provavelmente por ter sido um dia em que passaram bastantes nuvens sobre a região.

**Tabela 1.** Energia diária do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor do solo (G), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) sobre o dossel da pastagem entre 24 e 28 de setembro de 2009.

Dia	Rn	G	LE	H
	(MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )			
24	10,11	-0,93	7,64	3,40
25	15,12	0,,13	9,51	5,48
26	15,97	0,44	11,21	4,33
27	14,11	0,65	9,26	4,20
28	10,65	0,55	6,76	3,33

Observação: O valor negativo indica que o fluxo está para fora do sistema.

Da energia disponível (Rn), a maior porcentagem foi destinada à evapotranspiração, sendo 60,49% para o fluxo de calor latente, 29,7% para o fluxo de calor sensível (H) e, 0,98 % para o fluxo de do solo.

Apesar de a quantidade de dados estudados serem reduzida, os resultados concordam com aqueles encontrados na literatura em uma região de pastagem no Pantanal. Biudes et al. (2009) evidenciaram que 80% da energia líquida disponível em um cambarazal no pantanal é oriunda do fluxo de calor latente, assim como 56,6% da energia líquida de uma pastagem no mesmo local; já o fluxo de calor sensível representou 19,1% da energia líquida no cambarazal e 42,9% na pastagem; enquanto o fluxo de calor do solo representou 0,3 % no cambarazal e 7,2 % na pastagem durante o ano de 2007.

## CONCLUSÃO

O método da razão de Bowen estima de forma satisfatória o balanço de energia na pastagem no norte do Pantanal em um período de seca.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências financiadoras CAPES, CNPQ, FAPEMAT e ao Grupo de Pesquisa em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

## REFERÊNCIAS

ABDON, M. M.; SILVA, J. S. V.; SOUZA, I. M.; ROMON, V. T.; RAMPAZZO, J.; FERRARI, D. L. Desmatamento no bioma Pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p.17-24, 2007.

BALDOCCHI, D. D.; HICKS, B. B.; MEYERS, T. P. Measuring biosphere atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. **Ecology**, v.69, n.5, p.1331-1340, 1988.

BETTS, A. K.; DESJARDINS, R. L.; WORTH, D. Impact of agriculture, forest and cloud feedback on the surface energy budget in BOREAS. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.142, n. 2-4, p.156-169, 2007.

BIUDES, M. S. Balanço de energia e área de vegetação monodominante de Cambará e pastagem no norte do Pantanal. 2008. 142f. Tese (Doutorado Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Cuiabá – MT, 2008.

BIUDES, M. S.; CAMPELO JÚNIOR, NOGUEIRA, J. H.; SANCHES, J. S. L.. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do pantanal pelo método da razão de bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 56-52. 2009.

BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conductions and by evaporation from any water surface. **Physical Review Serial**, v.2, n.27, p.779-787, 1926.

IBÁÑEZ, M.; PÉREZ, P. J.; ROSELL, J. I.; CASTELLVÍ, F. Estimation of the latent heat flux over full Canopy covers from the radiative temperature. **American Meteorological Society**, v.38, n. 4, p.423-431, 1999.

JARVIS, P. G.; JAMES, G. B.; LANDSBERG, J. J. **Coniferous forests**. In: MONTEITH, J.L. (Ed.) *Vegetation and the Atmosphere: Case Studies*. London: Academy Press, v. 2, p. 171-240, 1976.

KÖPPEN, W. **Climatología**. Buenos Aires, Fondo de Cultura. p. 152-192, 1948.

- LIU, H. e FOKEN, T. A modified Bowen ratio method to determine sensible and latent heat fluxes. **Meteorologische Zeitschrift**, v.10, n.1, p.71-80, 2001.
- NOBRE, C. A.; FISCH, G., ROCHA, H. R.; LYRA, R. F. F.; ROCHA, E. P.; COSTA, A. C. L.; UBARANA, V. N.. Observations of the atmospheric boundary layer in Rondônia. In: J. H. C. GASH; C. A. NOBRÉ; J. M. ROBERTS; R. L. VICTORIA (Eds.) **Amazonian Deforestation and Climate**. New York: J. M. Wiley and Sons, 1996.
- OLIVEIRA, M. B. L.; VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C.; SÁ, L. D.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SOUZA, A.. Fluxos turbulentos de energia sobre o Pantanal sul mato-grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 159-16, 2006.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. 1. Ed. São Paulo. **Agronômica Ceres**, 1981. 413p.
- PEZZOPANE, J. R. M. e PEDRO JÚNIOR, M. J. Balanço de energia em vinhedo de 'Niagra Rosada'. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 155-161, 2003.
- SANTOS, S. A. e COSTA, C. Manejo sustentável das pastagens nativas: uma ação essencial para a implantação de um sistema orgânico de produção no Pantanal. In: **Conferência Virtual Global sobre Produção Orgânica de Bovinos de Corte**, I, 2002, Corumbá, Brasil. Anais. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002.
- SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SOLVA, V. P. R. Fluxo de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 400-407, 2008.
- TEIXEIRA, A. H. C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.28-32, 2001.

Recebido: 17/09/2012  
Received: 09/17/2012

Aprovado: 02/02/2013  
Approved: 02/02/2013