

# Componentes do balanço de energia estimados por meio do método da razão de bowen em um pomar de caju

## Components of energy balance estimated by the method of reason bowen in an orchard cashew

Marcos Alves Fausto<sup>1(\*)</sup>  
Anna Carolinna Albino Santos<sup>2</sup>  
Hozana Silva<sup>3</sup>  
José Holanda Campelo Júnior<sup>4</sup>  
Francisco de Almeida Lobo<sup>5</sup>

### Resumo

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso no município de Santo Antônio de Leverger em um pomar de caju (*Anarcadiaceae*). O objetivo do trabalho foi avaliar o balanço de energia usando o método da razão de Bowen em cajueiros com idade de dez anos e altura média de 3,5 metros. Foram avaliados os fluxos de calor latente de evapotranspiração ( $LE$ ), sensível ( $H$ ) e do solo ( $G$ ), na estação seca, nos dias julianos de 248 a 253, do ano de 2012. O saldo de radiação ( $Rn$ ) e o fluxo de calor no solo ( $G$ ) foram medidos instrumentalmente por uma torre micrometeorológica instalada no interior do pomar. Os Valores de  $H$  e  $LE$  foram próximos entre as 10:00 e 13:00 horas, no entanto ocorreram valores de  $H$  superior a  $LE$  nos dias julianos 248 e 250.  $LE$  e  $H$

- 
- 1 MSc.; Licenciado em Física; Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT; Endereço: Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: mffausto@hotmail.com
  - 2 MSc.; Bacharel em Química; Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental/Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT; Endereço: Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: anna.annilorac@gmail.com
  - 3 MSc.; Licenciada em Física; Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental/Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT; Endereço: Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: hznsilva@hotmail.com
  - 4 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor Titular da Universidade Federal de Mato Grosso/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/Departamento de Solos e Engenharia Rural; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Coxipó da Ponte, CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: campelo@ufmt.br
  - 5 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor Associado do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Cidade Universitária, Coxipó da Ponte; CEP: 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil; E-mail: f\_a\_lobo@ufmt.br

---

Recebido para publicação em 15/09/2014 e aceito em 28/08/2015

representaram 71% e 26% de Rn, respectivamente. A razão de Bowen apresentou valores positivos nos dias 252 e 253 e negativos nos dias 248 a 251.

**Palavras-chave:** caju; latente; sensível; solo.

## Abstract

This study was conducted at the Experimental Farm of the Federal University of Mato Grosso in the municipality of Santo Antônio de Leverger in a cashew orchard (*Anarcadiaceae*). The objective of the study was to evaluate the energy balance using the Bowen ratio method in a cashew orchard aged 10 years with an average height of 3.5 m. It was evaluated the fluxes of latent heat of evapotranspiration (LE), sensitive (H) and the heat flux into the soil (G) in the dry season in the Julian days of 248 to 253 in the year 2012. The net radiation (Rn) and the heat flux into the soil (G) were instrumentally measured by a micrometeorologic tower installed inside the orchard. The results showed that the flow value of H and LE were close between 10:00 and 13:00 o'clock; however values of H occurred to be higher than LE in the Julian days of 248 and 250. LE and H represented 71% and 26% of Rn respectively. The Bowen ratio method showed positive values on days 252 and 253, and negative ones on days 248-251.

**Keywords:** cashew; bowen ratio; soil.

## Introdução

O cajueiro anão é uma espécie da família *Anarcadiaceae* que tem sua origem na América tropical, sendo utilizada na medicina tradicional. É uma espécie encontrada no Cerrado, na Caatinga e na Amazônia. O cultivo do caju é uma atividade de maior importância econômica e social para a região do Nordeste brasileiro, pois, além de empregar grande contingente de pessoas participa, de forma expressiva, na geração de divisas externas (SANTOS, 2011; IBGE, 2015).

A facilidade na colheita dos frutos pela pequena estatura das árvores permite que sejam colhidos à mão diretamente do pé, proporcionando uma coleta de frutos com alta qualidade. A parte carnosa do caju (pseudofruto) é muito apreciada na forma de bebidas, e a castanha tornou-se especiaria, indispensável na culinária nordestina e muito difundida em todo o mundo (BARROS, 2002).

O cultivo do caju é feito de forma planejada, para que se tenham bons frutos e árvores em condições de garantir a produtividade. Na região de Cerrado, predominante no estado de Mato Grosso, já se identificam plantações de caju. No entanto não se sabe se o manejo é feito de forma correta.

Assim como em outras culturas, o cajueiro necessita de água, principalmente no período seco, em que a secagem do solo é extrema. Por essa razão, os planejamentos para implantação da irrigação considerando os elementos meteorológicos são importantes no manejo adequado para o desenvolvimento da cultura, principalmente em região semiárida ou com secas regulares, onde o desenvolvimento, crescimento e a produtividade são limitados pelo fator hídrico (GALVANI et al., 2001).

Uma das formas de obter esse planejamento é utilizar dados meteorológicos

e métodos para compreender a dinâmica das trocas de energia do pomar com a atmosfera. Destaca-se o método da razão de Bowen, muito usado para estimar a evapotranspiração de superfícies vegetadas, pois baseia-se na diferença entre a energia que entra e que sai de um sistema ou a energia captada por ele (BIUDES et al., 2009).

Da energia que chega à superfície terrestre, uma parcela é utilizada para aquecer o ambiente na forma de fluxo calor sensível ( $H$ ), outra, no processo de evapotranspiração na forma de fluxo calor latente ( $LE$ ), e a outra parcela para aquecer o solo na forma de fluxo de calor no solo ( $G$ ) (PEREIRA, 2009).

O objetivo do trabalho foi avaliar o balanço de energia no pomar de caju usando o método da razão de Bowen em condições de Cerrado.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Estação Agroclimatológica Padre Ricardo Remetter, pertencente ao Sistema INMET (Registro 83364), localizada no município de Santo Antônio de Leverger, estado de Mato Grosso, nas seguintes coordenadas geográficas: 15° 47' de latitude Sul, 56° 04' de longitude Oeste e altitude de 140 m na região denominada Baixada Cuiabana.

O regime de chuvas é bem definido, apresentando um período seco e um chuvoso. A precipitação média anual é de 1320 mm ano<sup>-1</sup>. A temperatura média mensal varia de 22 °C a 27 °C. O clima da região é Aw de acordo com a classificação de Köppen. Os solos são poucos desenvolvidos em consequência da exposição recente, com ocorrência de solos litólicos distróficos, sendo que o solo dessa

área foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico Gleissólico.

O experimento foi realizado entre os dias 03/09/2012 e 10/09/2012. A estação micrometeorológica foi instalada no pomar de caju próximo à estação climatológica Ricardo Remetter e, possui um conjunto de instrumentos de aquisição de dados microclimáticos; no local, possui instalado um Radiômetro (*Net Radiometer LITE, Kipp & Zonen Delf, Inc, Holland*), usado para medir o saldo de radiação no dossel da cultura de caju, sensores de fluxo de calor no solo (HFT-3.1, REBS, Inc., Seattle, Washington).

Os psicômetros foram calibrados entre si, com relação à temperatura e à pressão de vapor. Os dados produzidos por sinais e pulsos elétricos dos transdutores foram processados e armazenados por um datalogger (CR 10X, Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah) com média de 10 min.

As condições meteorológicas do local foram acompanhadas por meio das observações de rotina obtidas na estação climatológica Ricardo Remetter, que se localiza próximo à área experimental.

O método da razão de Bowen foi utilizado para estimar os componentes do balanço de energia na cultura do cajueiro. Bowen formulou a razão  $\beta$  entre o fluxo de calor sensível  $H$  e latente  $LE$ , sobre uma superfície como uma função de gradiente vertical de temperatura e umidade. Com dados da diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) e da diferença da tensão de vapor ( $\Delta e$ ) entre dois pontos no perfil atmosférico, dentro da camada limite acima do dossel das plantas de interesse, obtém-se valores para a razão de Bowen segundo a equação 1 (FOKEN, 2008).

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

Em que  $\beta$  é adimensional,  $H$  é fluxo de calor sensível ( $\text{MJm}^{-2}$ ),  $LE$  é fluxo de calor latente ( $\text{MJm}^{-2}$ ). Podendo ser reescrita na Equação 2:

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

Em que  $\Delta T$  é diferença de temperatura do ar (em  $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Delta e$  é a diferença de pressão de vapor d'água no ar ( $\text{kPa}$ ) em duas alturas sobre o dossel e  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $0,062 \text{ kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

A pressão de vapor d'água saturado ( $e_s$ ) (em  $\text{kPa}$ ) foi calculada em função da temperatura do ar ( $T$ ) (Equação 3), e a pressão de vapor d'água do ar atual ( $e_a$ ) foi calculada usando os valores de temperatura medida no bulbo seco ( $T$ ) e úmido ( $T_u$ ) (Equação 4).

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot T}{237,3 + T}\right)} \quad (3)$$

$$e = e_s - \gamma(T - T_u) \quad (4)$$

O fluxo de calor sensível ( $LE$ ) foi obtido baseando-se em  $\beta$  e nos valores medidos pela estação do fluxo de  $R_n$  e  $G$  (Eq.5).

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

Em que,  $R_n$  é o saldo de radiação ( $\text{MJm}^{-2}$ ) e  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJm}^{-2}$ ) e  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $0,062 \text{ Kpa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

A pesquisa utilizou o intervalo da razão de Bowen entre -0,68 a 1,27. Segundo Betts et al. (2007), os valores nesse intervalo forneceram o melhor intervalo para os valores do fluxo  $LE$  e  $H$ . A razão de Bowen considera o gradiente de temperatura medida no bulbo seco e o gradiente de pressão de vapor d'água. Essas medidas foram coletadas entre as alturas 5 e

6 m de altura do solo, onde foram instalados, na torre no interior do pomar de cajueiro os psicrômetros, sendo esse método escolhido porque fornece resultados significativos.

## Resultados e Discussão

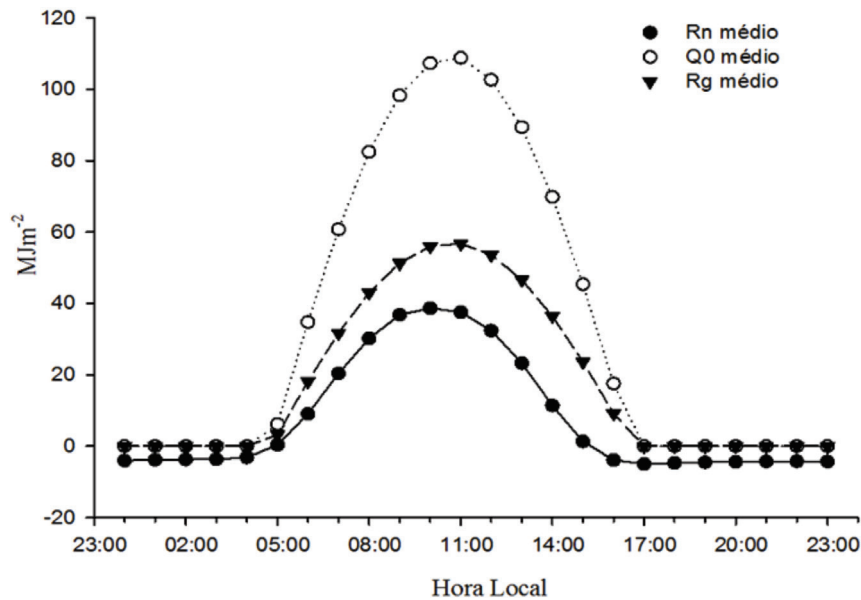
Na figura 1, estão representados os valores médios estimados da radiação solar global ( $R_g$ ), da radiação solar que chega no topo da atmosfera ( $Q_o$ ), e o valor médio medido do Saldo de radiação ( $R_n$ ) referentes aos dias julianos de 248 a 253 do ano de 2012 sobre o pomar de caju do ano de 2012.

A Radiação solar global variou entre 3,25 a 56,76  $\text{MJm}^{-2}$  no período diurno (6:00 às 17:00) e média diária de 17,9  $\text{MJm}^{-2}$ . Os valores máximos dos fluxos  $Q_o$ ,  $R_g$  e  $R_n$  ocorreram às 11:00 horas. A distribuição de  $Q_o$ ,  $R_g$  e  $R_n$  foram positivas durante o dia e negativas à noite. O  $R_n$  representou 66% de  $R_g$  às 12:00 horas e  $R_g$  representou 52,2% de  $Q_o$  (Figura 1), semelhante aos resultados obtidos por Pereira (2009).

Na figura 2, está representada a partição do saldo de radiação em fluxos  $LE$ ,  $H$  e  $G$ . Os fluxos de energia seguiram um comportamento com valores positivos durante o período diurno e negativo no noturno. Os fluxos  $LE$ ,  $H$  são diretamente influenciado por  $R_n$  e essa distribuição pode variar dependendo das condições meteorológicas do dia: nos dias escolhidos para o estudo, a interferência por nuvens não foi significativa, com intervalos curtos de sombra no pomar de caju.

A variação de  $R_n$  foi de -6,36 a 43,93  $\text{MJm}^{-2}$ , com valor médio diário de 8,37  $\text{MJm}^{-2}$ . O  $R_n$  no período entre às 7:00 e 17:00 horas variou de 0,87 a 40  $\text{MJm}^{-2}$ , com média diária de 25,26  $\text{MJm}^{-2}$ , enquanto no período noturno (18:00 às 06:00) os valores foram negativos.

Figura 1 - Distribuição média da Radiação solar que chega no topo da atmosfera terrestre ( $Q_0$ ), Radiação solar global ( $R_g$ ) e o Saldo de radiação ( $R_n$ ) entre os dias 248 a 253 de 2012



Fonte: Fausto, M.A. (2014).

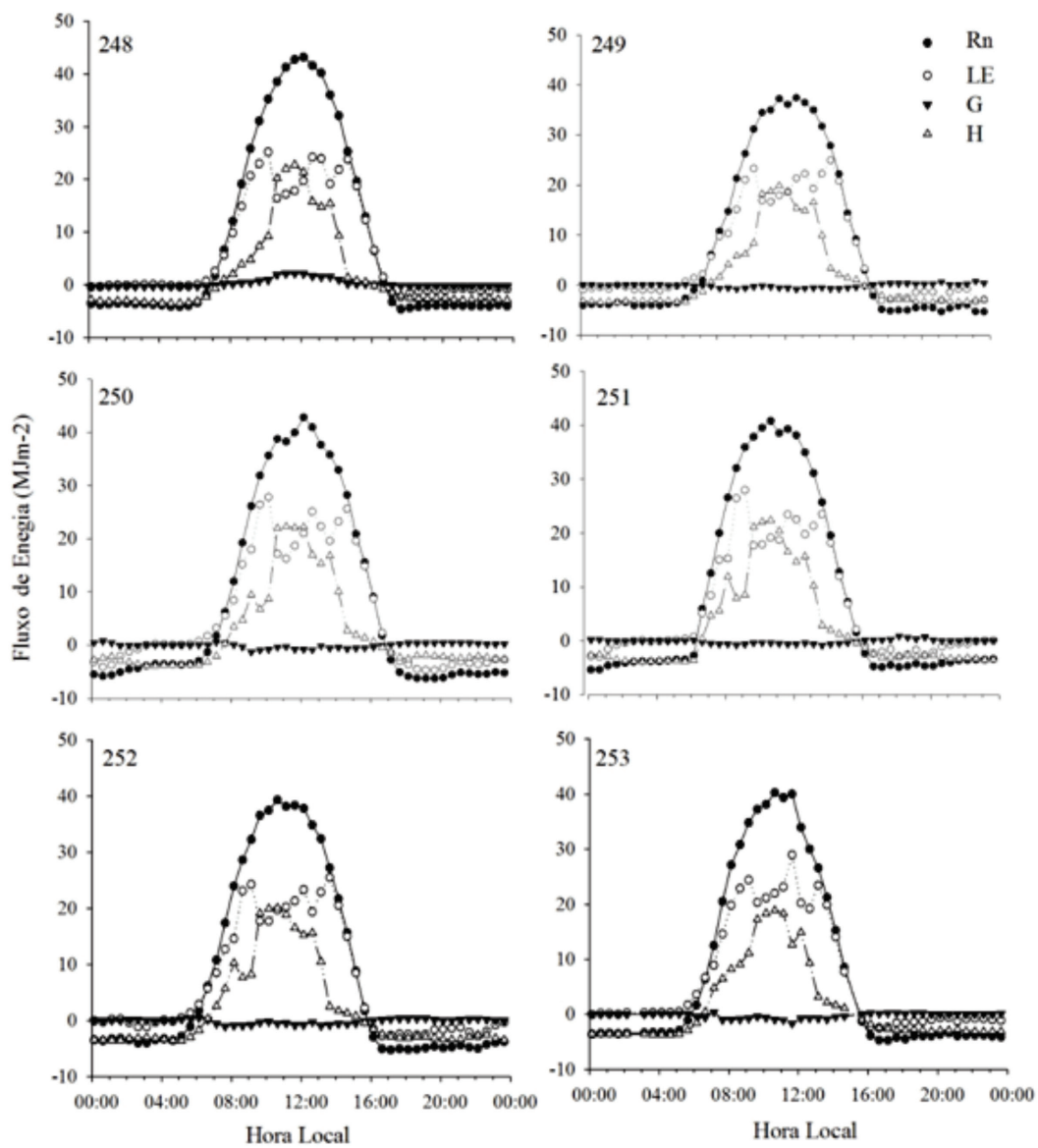
O pomar de caju não foi irrigado e não houve registro de precipitação no período analisado, o que contribuiu para o aceleração da secagem no solo. Houve uma variação significativa nas amplitudes dos fluxos  $H$ ,  $LE$ , e essa variação se manteve com predominância do  $LE$  sobre o  $H$ , caracterizando condições anormais para o período, pois era esperado que o  $H$  fosse igual ou superior a  $LE$ , devido à falta de água no solo com  $R_n$  direcionado a aquecer o ar, apresentando comportamento diferente do encontrado por Silva et al. (2005).

A partição de  $R_n$  em  $LE$ , variou entre 1,82 a 24,19 MJm<sup>-2</sup>, e média diária de 6,39 MJm<sup>-2</sup>, e em relação a  $H$  variou de 0,21 a 18,76 MJm<sup>-2</sup> com uma média diária de 1,79 MJm<sup>-2</sup>. A partição em  $G$  variou entre -0,1 a 1,78 MJm<sup>-2</sup> e média diária de 0,18 Wm<sup>-2</sup>. Esses resultados indicam que,

mesmo na estação seca, a cobertura mantém a umidade do solo, a maior partição de  $R_n$  foi na forma  $LE$ . Outra particularidade é o aprofundamento das raízes no solo por ser um pomar com dez anos de idade.

Os valores dos fluxos  $LE$  e  $H$  aproximaram entre as 10h00min e 13h00min horas nos dias julianos 249, 251, 252 e 253 e  $H$  supera  $LE$  no dia 248 e 250, conforme indica a figura 2. Segundo Cadavid et al. (1998), a matéria morta oferece proteção ao solo promovendo incrementos na produção das plantas, aumenta a água disponível no solo, fornece nutrientes essenciais às plantas, reduz a perda de água por evaporação resultando em maior crescimento do sistema radicular na camada superficial e reduz a flutuação da temperatura na superfície do solo (GILL et al., 1996). Essa cobertura protege contra a perda de umidade e minimiza os efeitos da

Figura 2 - Distribuição do saldo de radiação em fluxos de energia  $LE$ ,  $H$  e  $G$



Fonte: Fausto, M.A. (2014).

radiação solar e as trocas de calor entre o solo do abaixo do dossel e o ambiente, além de diminuir o surgimento de ervas daninhas (ALVES et al., 1995). A tabela 1 indica a variação da partição dos componentes do balanço de energia, obtida por meio do método da Razão de Bowen ( $\beta$ ).  $\beta$  variou entre -0,01 a 0,03. Pereira (1997) observou que, tanto para a floresta de transição quanto para a floresta tropical úmida, os valores da razão de Bowen estão dentro do intervalo de -0,5 a 1.

A razão de Bowen apresentou valores próximos à zero com uma variação positiva nos dias julianos 252 a 253 e negativa entre os dias 248 a 251. Em cultivares de feijão Caupi, em fase de desenvolvimento, foram obtidos razão de Bowen médio de 0,36 segundo San José et al. (2003).

A taxa de variação do fluxo H foi de 0,19 a 0,30% do  $R_n$  com média de 0,26%. Já o fluxo LE foi entre 0,66 a 0,78% com média de 0,71%. Observam-se valores superiores de LE sobre

H, no entanto, a distribuição pode variar entre culturas diferentes, conforme foram observados por Neves et al. (2008) em uma cultura de Feijão (*Vigna unguiculata* L.), no estado do Pará, com valores do fluxo H superior ao LE.

## Conclusão

Os fluxos *LE* e *H* entre as 10h00min e 13h00min horas foram semelhantes e *H* superou *LE* nos dias julianos 248 e 250. Nos dias estudados, a distribuição de  $R_n$  atingiu aproximadamente  $43,2 \text{ MJm}^{-2}$ , representando 66% de  $R_g$ . LE foi o principal componente do balanço de energia (71% de  $R_n$ ) e G foi a menor parcela da distribuição enquanto H apresentou taxa de 26% de  $R_n$ .

## Agradecimentos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

## Referências

ALVES, A. G. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.19, n.1 p.127-132, 1995.

BARROS, L. de M. **Caju**. Produção: aspectos técnicos/editor técnico. Brasília, DF: Embrapa Agroindústria Tropical (Fortaleza – CE). Embrapa Informação Tecnológica. 2002. 148 p. (Frutas do Brasil, 30).

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, p.156-169, 2007.

CADAVID, L. F.; EL-SHARKAWY, M. A.; ACOSTA, A.; SANCHES, T. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. **Field Crops Research**, v.57, p.45-56, 1998.

FOKEN, T. **Micrometeorology**. Berlin: Springer, 2008. 148 p.

GILL, K. S.; GAJRI, P. R.; CHAUDHARY, M. R.; SINGH, B. Tillage, mulch, and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. **Soil Tillage Research**, v.39, p.213-227, 1996.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de energia na cultura de pepineiro em ambiente natural e protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 60, n. 2, p.127-137, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola agosto**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 6 ago. 2015.

NEVES, L. O.; COSTA, J. M. N.; ANDRADE, U. M.; LÔLA, A. C.; FERREIRA, W. P. Balanço de energia em uma cultura de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.) no estado do Pará. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, v.16, n.1, p.21-30, 2008.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 478 p.

PEREIRA, O. A. **Determinação do fluxo de CO<sub>2</sub> numa área monodominante de Cambará no Norte do Pantanal Mato-grossense**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

SAN JOSÉ, J. J.; BRACHO, R.; MONTES, R.; NIKONOVA, N. Comparative energy exchange from cowpeas (*Vigna unguiculata* (L) Walp cvs. TC-9-6 and M-28-6-6) with differences in canopy architectures and growth durations at the Orinoco llanos. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.116, p.197-219, 2003.

SANTOS, F. O. **Atividades biológicas de *Anacardium occidentale* (Linn)**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Sistema Agrosilvo-pastoris) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

SILVA, L.B. B.; FOLEGATTI, M. V.; VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n. 3, p. 705-712, 2005.