

Balanço de energia em uma cultura de feijão caupi (*Vigna unguiculata L.*) no estado do Pará

Energy balance in a cowpea beans (*Vigna unguiculata L.*) crop in the state of Pará

Leonardo de Oliveira Neves¹, José Maria Nogueira da Costa², Vanda Maria Andrade³,
Antonio Carlos Lôla⁴, Williams Pinto Ferreira⁵

Resumo: Este trabalho teve como objetivo estudar a variação do balanço de energia e analisar a partição do saldo de radiação em termos dos fluxos de calor latente e calor sensível, para a cultura de feijão caupi (*Vigna unguiculata L.*) Foram feitas medições contínuas dos fluxos de calor sensível, calor latente e saldo de radiação, no feijão caupi, cultivado na cidade de Tracuateua-PA, no período de agosto a setembro de 2002, usando-se a covariância dos vórtices turbulentos. O saldo de radiação representou, em média, **62%** da radiação solar global. A maior porção do saldo de radiação foi usada como fluxo de calor sensível (**61%**), enquanto o fluxo de calor latente respondeu apenas por **21%** do saldo de radiação. Esse baixo percentual do saldo de radiação usado como fluxo de calor latente ocorreu devido a restrições hídricas impostas pela falta de chuvas durante o período experimental.

Palavras-chaves: Balanço de energia, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, razão de Bowen.

Abstract: The goal of this work was to study the variation of energy balance and to evaluate the net radiation partition in latent heat and sensible heat fluxes for cowpea crop (*Vigna unguiculata L.*). Continuous measurements of the sensible heat, latent heat fluxes and radiation balance in cowpea were made in the city of Tracuateua, Brazil, in the period of August to September of 2002, and the eddy correlation method was used. The net radiation represented, on average, 62% of the global solar radiation. The higher portion of net radiation was used as sensible heat flux (61%), while the latent heat flux responded for just 21%. This low contribution of the latent heat flux was related to water restrictions during the studied period due to the lack of precipitation.

Key words: Energy balance, latent heat flux, sensible heat flux, Bowen ratio.

Introdução

O feijão caupi (*Vigna unguiculata L.*) é uma cultura de fácil adaptação a solos de baixa fertilidade, devido às suas altas taxas de fixação de nitrogênio (ELOWAD e HALL, 1987). Também é uma importante fonte de matéria orgânica, utilizado como adubo verde na recuperação de

solos naturalmente pobres em fertilidade ou esgotados pelo uso intensivo. Segundo EHLERS et al. (1997), a cultura do caupi tem grande adaptação a altas temperaturas e à seca, quando comparada a outras culturas. De acordo com CARVALHO et al. (1998), essa adaptação à seca está relacionada com a diminuição da perda de água pelo controle da abertura dos estômatos.

¹ Meteorologista, Doutorando em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – (UFV).

E-mail: leomestrado@yahoo.com.br - Bolsista CAPES

² Prof. Titular, PH.D.– Universidade Federal de Viçosa – (UFV). E-mail: jmncosta@yahoo.com

³ Meteorologista, Doutoranda em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – (UFV).

E-mail: vanda007@yahoo.com – Bolsista FAPEMIG

⁴ Prof. Adjunto, Ds. – Universidade Federal do Pará – (UFPA). E-mail: lola@ufpa.com.br

⁵ Pesquisador, Ds. - EMBRAPA – Milho e Sorgo. Email: williams@cnpms.embrapa.br

Todavia, enquanto vários estudos têm mostrado que o caupi pode manter o potencial de água na folha em valores relativamente altos durante estresse hídrico, devido ao fechamento estomatal, CHAVES (1991) adverte que essa estratégia pode acarretar redução na assimilação de CO_2 e, conseqüentemente, no seu crescimento e produtividade.

A importância da cultura de caupi para o Estado do Pará pode ser destacada pela geração de mais de 70 mil empregos diretos e um volume de negócios que gira em torno de 30 milhões de dólares por ano (SAGRI, 2006). Só na região Bragantina Paraense, são mais de 30 mil pessoas, em 16 municípios, que dependem diretamente dessa cultura. A estimativa de produção do feijão caupi, em 2005, para essa região, foi de 30 mil toneladas, sendo que 90% da produção é comercializada na região Nordeste do Brasil (SAGRI, 2006).

Segundo estimativas da FAO (2006), a produção mundial da cultura de caupi é de aproximadamente 3,7 milhões de toneladas, em uma área cultivada de cerca de 8,7 milhões de hectares. A Nigéria é o maior produtor de caupi, com aproximadamente 57% do total da produção mundial, seguida pelo Brasil, que contribui com 17% da produção mundial (PEREIRA et al., 2001).

O método da covariância dos vórtices turbulentos é um método micrometeorológico que vem sendo utilizado pelos pesquisadores, em vários sítios experimentais, para quantificar as magnitudes dos fluxos de massa e energia acima dos ecossistemas (BALDOCCHI, 2003). Possui uma instrumentação exclusiva para cálculos dos fluxos de turbilhões e, acoplado a microprocessadores e sistemas automáticos de aquisição de dados, tem facilitado a utilização desse método para medições contínuas ao longo do tempo. Nas últimas décadas, com o avanço dos instrumentos e dos microprocessadores, o método tem se tornado confiável e preciso. As medidas obtidas pelo método da covariância dos vórtices turbulentos vão servir de entrada para modelos biofísicos, em que simulações futuras dos fluxos de massa e energia poderão ser comparadas com medidas dos fluxos de outros ecossistemas. Além disso, o estudo do fluxos de massa e energia é de grande importância

no desenvolvimento de novas culturas, para otimizar a utilização do uso da radiação e da água.

Em virtude disso, o estudo dos fluxos de massa e energia no interior da cultura do feijão caupi se tornou necessário, sendo que o método da covariância dos vórtices turbulentos, atualmente, está sendo muito utilizado pelos pesquisadores, para análise dos fluxos de massa e energia entre o ecossistema e a atmosfera. Esse método constitui uma importante ferramenta na quantificação dos fluxos de CO_2 , vapor d'água e energia, sendo reconhecido atualmente como a forma mais direta e confiável para o monitoramento de longo prazo dos fluxos em ecossistemas agrícolas. (BALDOCCHI, 2003).

O único estudo encontrado na literatura sobre o balanço de energia para a cultura do caupi, utilizando o método da covariância dos vórtices turbulentos, foi realizado por SAN JOSE et al. (2003). Nesse estudo, foi feita uma comparação sobre variação dos fluxos de energia durante o ciclo fenológico, para duas variedades da cultura de caupi. Constatou-se que o fluxo de calor latente foi o principal termo do balanço de energia, representado 82% e 86% da energia disponível para as duas variedades analisadas.

Outro método muito utilizado é o método de balanço de energia baseado na razão de Bowen (LOPES et al., 2001; TEIXEIRA, 2001; CUNHA et al., 2002; YOSHIMOTO, 2005). LIMA (2005), em experimento com feijão caupi, utilizando o método do balanço de energia, no brejo paraibano, observou que o fluxo de calor latente aumentou com o aumento da cobertura do solo, sendo que 71% do saldo de radiação foi utilizado sob a forma de calor latente, 19% para o fluxo de calor sensível e 10% para o fluxo de calor no solo.

TEIXEIRA (2001) avaliou os componentes do balanço de energia durante o primeiro ano da cultura de banana, utilizando o método do balanço de energia/razão de Bowen, e constatou que a maior porção do saldo de radiação foi usada como fluxo de calor latente 87%, enquanto 11% foi para o fluxo de calor sensível. Segundo o mesmo autor, o maior percentual do saldo de radiação sob a

forma de calor latente foi devido à advecção de umidade do Rio São Francisco para a cultura.

O principal objetivo deste trabalho foi analisar as variações médias horárias da partição do saldo de radiação acima da cultura de feijão caupi, utilizando o método da covariância dos vórtices turbulentos.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado no sítio experimental localizado na cidade de Tracuateua-PA, cuja posição geográfica é dada por 01° 00' 38,6" S; 46° 50' 58,1" W, e altitude de 20 m (Figura 1). De acordo com a classificação climática de THORNTWHAITE e MATHER, o clima da cidade de Tracuateua é classificado como sendo do tipo CwC_1 "d", subúmido seco, com excesso de d'água pequeno ou nulo.

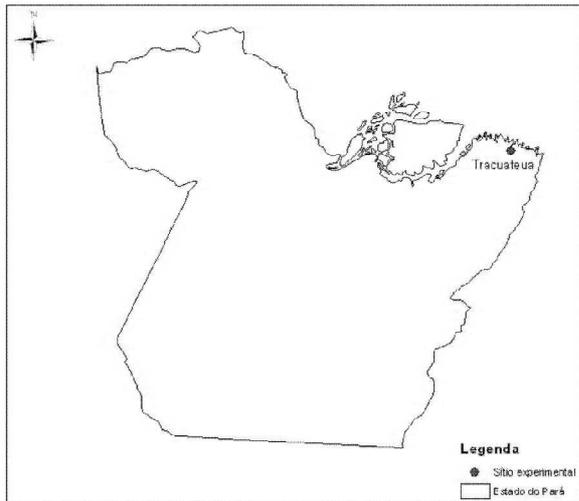


Figura 1. Localização do sítio experimental, na cidade de Tracuateua-PA.

O plantio do feijão caupi foi feito entre os dias 25/07/2002 e 27/07/2002, de forma mecanizada, em uma área de 70 ha, e a colheita foi realizada entre os dias 27/09/2002 e 30/09/2002. As sementes foram distribuídas em sulco de plantio com o espaçamento de 60 cm entre linhas e 20 cm nas linhas de plantio, e foi feita a adubação de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), na concentração de 40-20-20.

A variação da matéria seca foi monitorada a cada dez dias, e foram coletadas amostras de plantas em um metro quadrado de superfície do

solo, que posteriormente foram levadas para uma estufa do laboratório do núcleo da Universidade Federal do Pará (UFPA), em Bragança. A análise da umidade do solo a 15 cm de profundidade foi feita pelo método gravimétrico, a cada período de dez dias. Foram também realizadas análises granulométrica e de fertilidade do solo.

As medições da radiação solar global e do saldo de radiação foram obtidas em uma estação meteorológica automática, instalada no topo de uma torre micrometeorológica de cinco metros de altura (Figura 2), para os meses de agosto e setembro de 2002. Foram registrados os sinais dos instrumentos a cada cinco segundos e calculada a média horária para todo o ciclo da cultura, em um DATALOGGER (10X, Campbell Scientific, Logan, o UT).

Os fluxos de calor latente (LE) e de calor sensível (H) foram medidos utilizando o método da covariância dos vórtices turbulentos, que consiste no princípio de determinação direta dos fluxos, calculando-se as covariâncias entre os desvios da velocidade vertical do vento e os desvios da temperatura (H) e da concentração de vapor d'água (LE), segundo a equação:

$$F_c = \overline{w'c'}$$

em que: F_c representa o fluxo turbulento vertical de "c" (nesse caso, "c" pode ser CO_2 , H_2O) e "w" é a componente vertical da velocidade do vento. O termo w' indica os desvios de curto prazo com relação ao valor médio da componente vertical da velocidade do vento de um determinado período. A barra superior sobre $w'c'$ indica o valor desse produto ao longo de um determinado período de tempo. STULL (1988), MONTEITH e UNSWORTH (1990) e MASSHEDER AND MONCRIEFF (1997) descreveram com mais detalhes o procedimento de funcionamento desse método.

Foi utilizado o sistema EDISOL, desenvolvido na University of Edinburgh, por John Moncrieff. O sistema EDISOL, descrito por MONCRIEFF et al. (1997), utiliza instrumentos comercialmente disponíveis, tais como: o

Tabela 1. Instrumentos utilizados nas medições meteorológicas

Variável	Instrumento(s)	Marca
Fluxo de calor sensível	Anemômetro sônico	3-D Solent Gill
Fluxo de calor latente	Anemômetro sônico e analisador de gases	LI-COR 6262
Saldo de radiação Radiação Global	Saldo Radiômetro Piranômetro	REBS Q*6 Kipp & Zonen CM21
Velocidade do vento	Anemômetro	Wind Sentry Modelo 03001
Direção do vento	Anemômetro	Wind Sentry Modelo 03001
Umidade Relativa e Temperatura do ar	Higrômetro	HMP 45C
Precipitação	Pluviógrafo	Modelo CS 700-L

anemômetro sônico de três eixos (Gill A1012R3), para medições instantâneas dos componentes da velocidade do vento, e o analisador de gás na faixa do infravermelho (LI-COR 6262), para medir as concentrações de CO₂ e de vapor d'água utilizadas nos cálculos dos fluxos.

O sistema é controlado por um software desenvolvido especificamente para calcular os fluxos de momentum, calor sensível e calor latente em tempo real. Essas informações foram complementadas com medições do saldo de radiação, radiação solar global, precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento (Tabela 1).

A partição da energia disponível em termos dos fluxos de calor sensível e calor latente pode ser expressa pela Razão de Bowen (β), de acordo com a equação (fontes):

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

em que: β = Razão de Bowen; H = Fluxo de calor sensível [W.m⁻²]; LE = Fluxo de calor latente [W.m⁻²].



Figura 2. Torre micrometeorológica no centro da cultura de feijão caupi

Resultados e Discussão

Características da localidade

Estão ilustradas, na Tabela 2, as Normais Climatológicas (1961-1990) referente aos meses de agosto e setembro, para a cidade de Tracuateua – PA. Para o ano de 2002, os meses de agosto e setembro foram atipicamente secos, tendo sido registrado um total acumulado de precipitação pluvial inferior a 2 mm.

Tabela 2. Normais Climatológicas para a cidade de Tracuateua – PA

Mês	P (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)
Agosto	101,2	31,2	20,5	25,6	85,0
Setembro	28,6	31,6	20,4	25,8	80,0

A Figura 3 evidencia que a temperatura média do ar variou de 24,1 °C a 25,6 °C, com média, para o período de 24,8 °C. A umidade relativa apresentou valores elevados durante todo o período estudado, variando de 79,3% a 98,2%, com uma média de 90,4%. O déficit de pressão de vapor variou de 0,12 kPa a 0,80 kPa, com média de 0,33 kPa. A velocidade média do vento, para o período diurno, variou de 1,6 m.s⁻¹ a 7,0 m.s⁻¹, com média de 4,9 m.s⁻¹, enquanto, no período noturno, a

variação foi bem inferior, de 0,8 m.s⁻¹ a 1,8 m.s⁻¹, com valor médio de 1,5 m.s⁻¹ para o período de estudo. Com base nesses dados, constatou-se que a precipitação pluvial ocorrida durante o período experimental foi inferior ao esperado. A temperatura média do ar também apresentou valores ligeiramente abaixo dos históricos, enquanto a umidade relativa registrada foi ligeiramente superior aos valores históricos para o mesmo período.

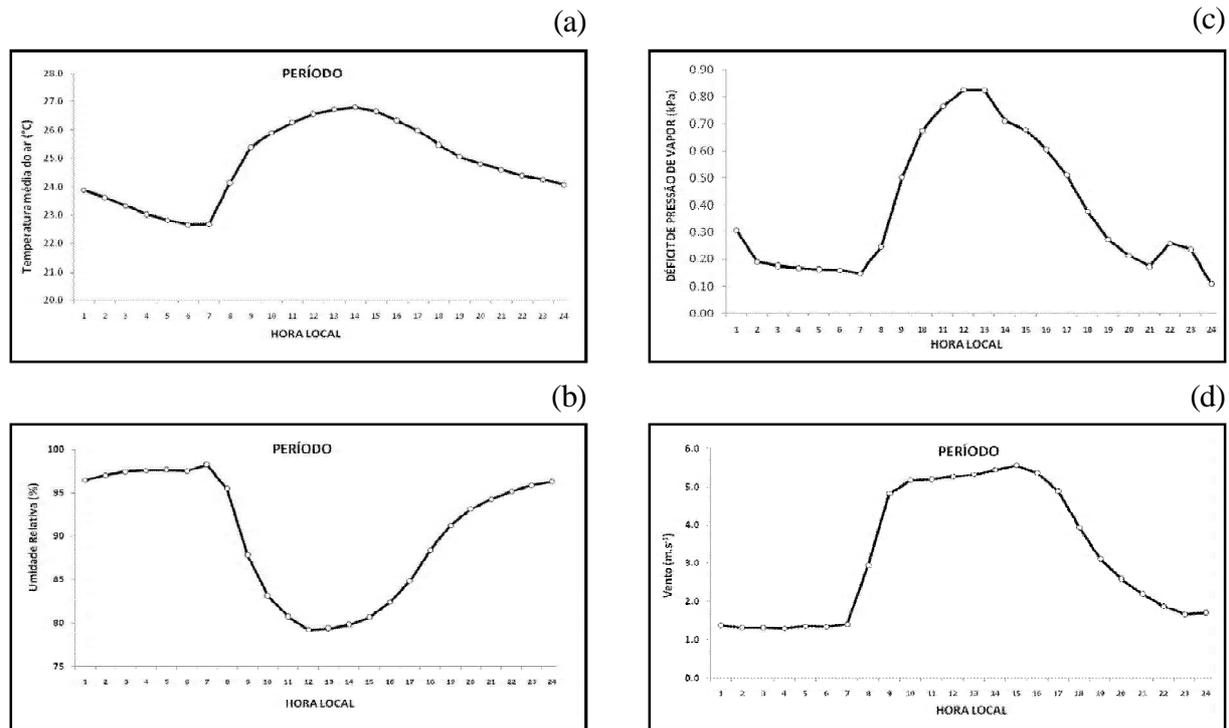


Figura 3. Variação dos valores médios de temperatura média do ar (a), umidade relativa (b), déficit de pressão de vapor (c) e velocidade do vento (d), durante o ciclo da cultura de caupi, correspondente ao período de agosto a setembro de 2002.

Radiação solar global e saldo de radiação

Os dados da Radiação Solar Global (Rg) e do Saldo de Radiação (Rn), referentes ao período de agosto a setembro de 2002, são mostrados na Figura 4. Rg variou de 241,4 W.m² a 874,9 W.m²,

com uma média, para o período, de 609,3 W.m². Os valores máximos, conforme esperado, ocorreram ao meio-dia. Rn teve um comportamento semelhante à Rg, ao longo do período analisado. A variação de Rn foi de -45,0 W.m² a 547,5 W.m², com valor médio horário de

138,6 W.m^{-2} , para o período de 24 horas. O saldo de radiação teve uma variação média horária, para o período diurno, no horário entre 8 e 17 horas, de 132,2 a 547,5 W.m^{-2} , com uma média horária de 374,1 W.m^{-2} , enquanto a variação noturna da média horária foi de -45,0 W.m^{-2} a -23,2 W.m^{-2} , com valor médio de -36,3 W.m^{-2} entre 19 e 7 horas.

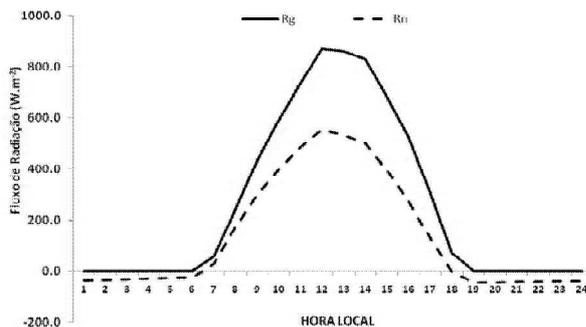


Figura 4. Variação das magnitudes médias de R_g e R_n , para o período de 24 horas, correspondente a agosto e setembro de 2002.

Pode ser observada, na Figura 5 a variação média diária acumulada de R_g e R_n , para o período analisado. Os totais diários de R_g e R_n observados foram de 17,03 MJ.m^{-2} (em 21 de agosto) a 26,39 MJ.m^{-2} (em 25 de setembro), tendo-se obtido um valor médio diário para o período de 22,31 MJ.m^{-2} . A variação observada de R_n foi de 9,47 MJ.m^{-2} no dia 21 de agosto, a 14,5 MJ.m^{-2} no dia 23 de agosto, com um valor médio de 11,92 MJ.m^{-2} . Valores obtidos foram próximos aos encontrados por SAN JOSÉ et al. (2003), com medições feitas em duas variedades de caupi, na Venezuela ($9^{\circ}45' \text{N}$; $63^{\circ}21' \text{W}$), tendo encontrado um valor médio de 11,30 MJ.m^{-2} para o Saldo de Radiação.

A variação da razão entre a R_g e R_n está ilustrada na Figura 6. Essa razão apresentou uma tendência de decréscimo a partir da fase de desenvolvimento, em agosto, até a maturação fisiológica, em setembro. A variação média para todo o período foi de $0,62 \pm 0,02$. Resultados obtidos por LIMA (2005), em pesquisa realizada com a cultura do caupi, no brejo paraibano ($6^{\circ}58' \text{S}$; $35^{\circ}41' \text{W}$), apresentaram valores médios de dessa razão 0,71.

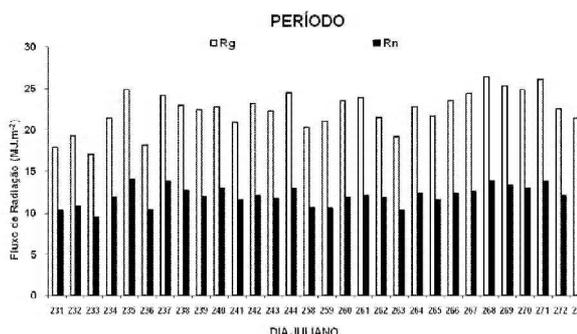


Figura 5. Variação dos valores médios acumulados diários da R_g e R_n , para o período experimental.

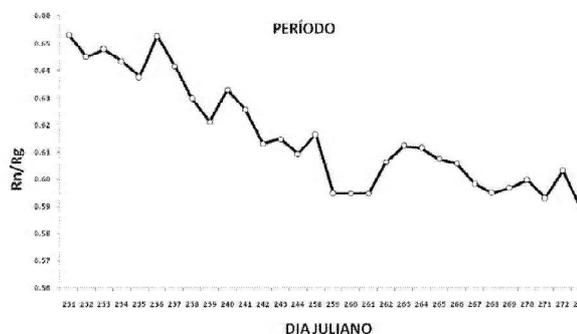


Figura 6. Variação média da razão de R_g e R_n , para todo o período experimental.

Partição do saldo de radiação

O padrão diurno dos componentes do balanço de energia na fase de crescimento foi representado pelos dias 12/08/2002, 16/08/2002 e 25/08/2002, os quais ilustram os processos que ocorrem com a cobertura parcial do solo pela planta (Figura 7). A ausência de precipitação no período analisado contribuiu para acelerar o processo de secagem no solo. Não houve uma variação significativa nas magnitudes dos fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE), durante a fase de crescimento, e a predominância do fluxo de calor sensível sobre o fluxo de calor latente foi observada durante a fase de crescimento, caracterizando condições adversas para o crescimento e desenvolvimento da cultura.

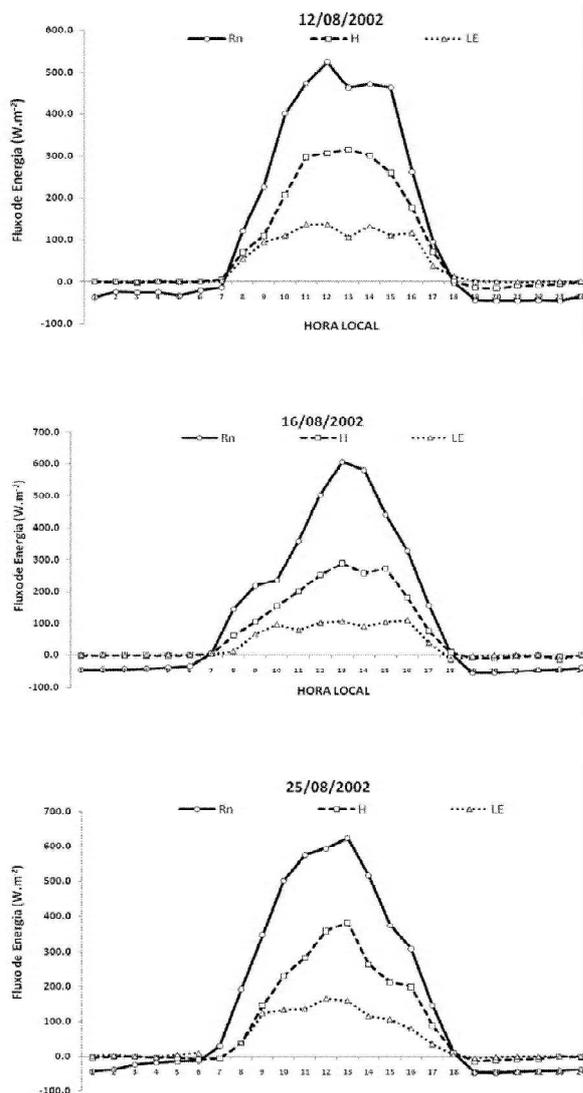


Figura 7. Variação média horária dos componentes do balanço de energia na cultura de caupi, durante a fase de crescimento.

Pode ser observada, na Figura 8 que a partição do saldo de radiação, em relação ao fluxo de calor sensível, variou de 0,42 a 0,63, com uma média de 0,56, e, em relação ao fluxo de calor latente, variou de 0,21 a 0,45, com uma média de 0,28. De acordo com o esperado, em condições de déficit hídrico, a maior utilização do saldo de radiação em forma de calor sensível foi evidente para os três dias representativos da fase de crescimento.

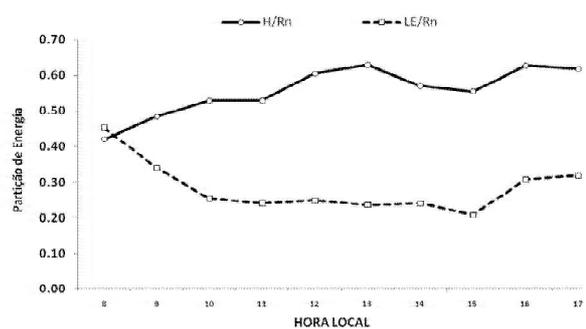


Figura 8. Variação horária dos fluxos de calor latente (LE/Rn) e calor sensível (H/Rn), para a fase de crescimento da cultura de caupi.

A Figura 9 ilustra a fração dos componentes do balanço de energia expressa pela Razão de Bowen, que variou de 0,97 às 8 horas, aumentando até alcançar um valor máximo de 2,81 às 13 horas, com um valor médio de $2,12 \pm 0,56$. Resultados contrastantes foram obtidos por SAN JOSÉ et al. (2003), em estudo realizado com duas variedades de caupi, durante a fase de crescimento, sem restrição hídrica. A quantidade de energia disponível para a cultura foi utilizada no processo de evaporação, sendo que o fluxo de calor latente, o principal componente do balanço de energia, obteve um valor médio para a razão de Bowen de 0,39, para a fase de crescimento.

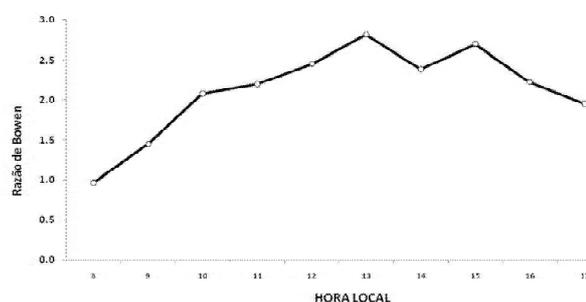


Figura 9. Variação média horária da Razão de Bowen, para a fase de crescimento da cultura de caupi.

Pode ser observada, na Figura 10, a variação média diurna dos componentes do balanço de energia, para os dias 15/09/2002 e 18/09/2002, caracterizando a fase de desenvolvimento da cultura de caupi. Foi observada uma tendência

similar ao R_n para as duas componentes do balanço de energia (H e LE). Valores mínimos ocorreram no início da manhã, aumentando até atingir valores máximos próximo ao meio-dia. Nesse período, não foi registrada a ocorrência de precipitação, o que contribuiu, possivelmente, para as condições de estresse hídrico e térmico pela cultura.

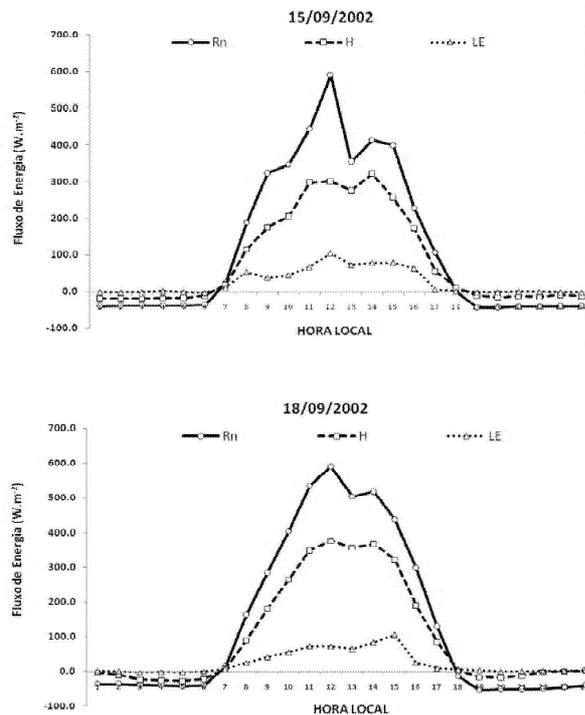


Figura 10. Variação média horária dos componentes do balanço de energia na cultura de caupi, durante a fase de desenvolvimento, para os dias 15/09/2002 e 18/09/2002.

A variação da partição dos componentes do balanço de energia durante a fase de desenvolvimento está ilustrada na Figura 11. A variação dos valores de fluxo de calor sensível foi de 0,41 a 0,73, com valor médio de 0,60. Já o fluxo de calor latente teve um decréscimo nos valores, variando de 0,14 a 0,26, com valor médio de 0,20. Durante a fase de desenvolvimento da cultura, ficou evidente o predomínio do fluxo de calor sensível sobre o fluxo de calor latente. Esta variação dos fluxos de calor sensível e latente, pode, novamente, ser explicada pela quantidade limitada

de água disponível no sistema solo-planta-atmosfera; além disso, o espaçamento entre fileiras e o fechamento parcial do dossel são fatores que contribuem para os altos valores de fluxo de calor sensível.

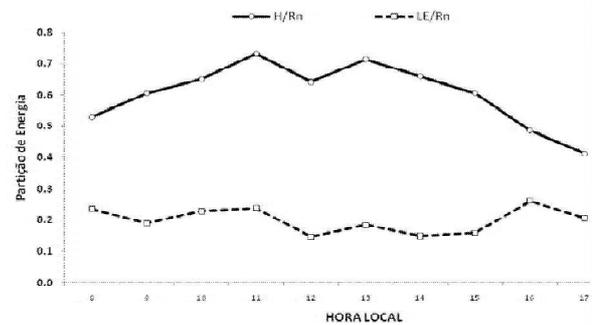


Figura 11. Variação da partição dos componentes do balanço de energia, durante a fase de desenvolvimento.

Pode ser observada, na Figura 12, que a variação da partição dos componentes do balanço de energia, expressa pela Razão de Bowen, variou de 1,5 a 3,3, com uma média de 2,4. O aumento da Razão de Bowen é facilmente explicado pelas condições adversas que a cultura vem suportando desde o início do plantio; a falta de chuvas e a pouca umidade no solo contribuíram para os altos índices da Razão de Bowen. Resultados diferentes na fase de desenvolvimento, para duas cultivares de feijão caupi, foram obtidos por SAN JOSÉ et al. (2003), em que o pesquisador obteve, para a Razão de Bowen, uma média de 0,36.

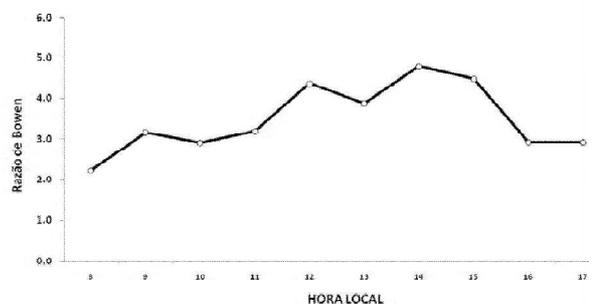


Figura 12. Variação média horária da Razão de Bowen, para a fase de desenvolvimento.

Na Figura 13, é apresentada a variação horária dos componentes do balanço de energia, durante a fase de senescência da cultura de caupi. Constatou-se, para o dia 27/09/2002, que o fluxo de calor sensível continua sendo o principal componente do balanço de energia; isso ocorreu devido à maior exposição do solo. Os valores dos fluxos de calor sensível foram extremamente elevados e a maior quantidade de energia disponível no sistema foi utilizada para o aquecimento do ar e do solo.

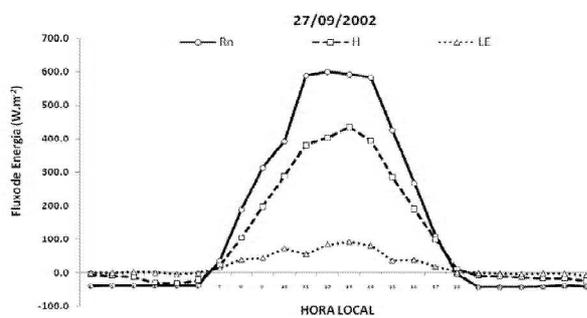


Figura 13. Variação média horária de Rn e dos componentes do balanço de energia, na cultura de caupi, durante a fase de senescência.

Valores do fluxo de calor sensível variaram de 0,52 a 0,83, com uma média de 0,69, enquanto a variação do fluxo de calor latente foi de 0,11 a 0,24, com uma média de 0,15. Como era esperado, na fase de senescência, ficou evidente o predomínio do fluxo de calor sensível sobre o fluxo de calor latente (Figura 14).

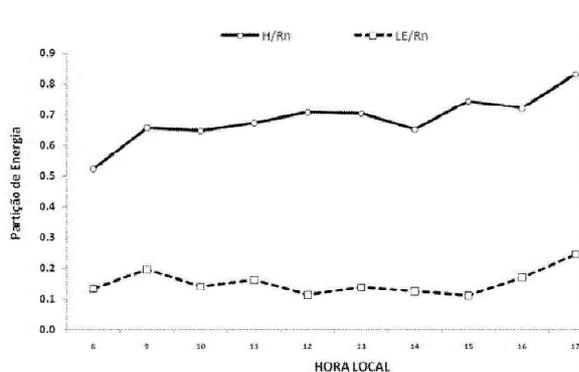


Figura 14. Variação média horária da partição de Rn, para a fase de crescimento da cultura de caupi.

Na Figura 15, é apresentada a variação média horária da Razão de Bowen, para a fase de senescência. Os valores variaram de 3,5 a 6,8, com uma média de 5,12. A deficiência hídrica foi evidente nessa fase, e o solo muito seco contribuiu para esse índice elevado da razão de Bowen.

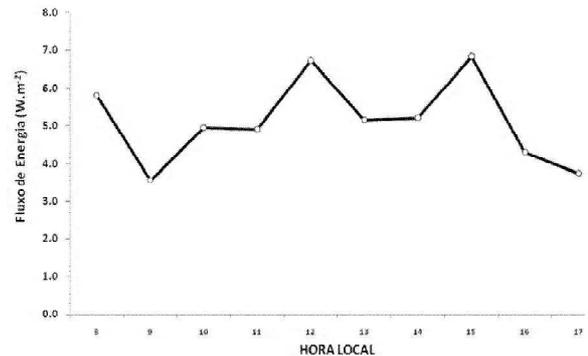


Figura 15. Variação média horária da Razão de Bowen, para a fase de senescência

Conclusões

Durante todo o período de estudo, em condições de sequeiro, o saldo de radiação sobre a cultura teve a maior parte (61%) utilizada no fluxo de calor sensível e 21% para o fluxo de calor latente.

A maior parte do saldo de radiação foi utilizada para aquecer a superfície e a atmosfera acima da cultura, sendo que o fluxo de calor sensível foi o principal componente do balanço de energia, contribuindo para esse aquecimento, devido, principalmente, à baixa disponibilidade hídrica ao longo do ciclo da cultura.

A radiação solar global e o saldo de radiação foram as variáveis mais fortemente correlacionadas com os componentes do balanço de energia, sendo que 62% do total da radiação solar global foi disponível para o sistema, em forma de energia.

A Razão de Bowen, que expressa a partição do balanço de energia em fluxo de calor sensível e de calor latente, apresentou um valor médio de 2,82 durante o ciclo da cultura.

Referências Bibliográficas

BALDOCCHI, D.D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, p. 479-492, 2003.

BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, New York, v. 27, p. 779-87, 1926.

CARVALHO, M.H.C.; LAFFRAY, D.; LOUGUET, P. Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 40, p. 197-207, 1998.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, p. 1-16, 1991.

CUNHA, A.R.; ESCOBEDO, J.F.; KLOSOWSKI, E.S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 6, p. 735-743, 2002.

EHLERS, J.D.; HALL, A.E. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 53, p. 187-204, 1997.

ELOWAD, H.O.A.; HALL, A.E. Influences of early and late nitrogen fertilization on yield and nitrogen fixation of cowpea under well-watered and dry field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 15, p. 229-244, 1987.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) statistics**, 2006. Disponível em: <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>. Acesso em: 10 fev. 2007.

LIMA, J.R.S. et al. Balço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662005000400014&script=sci_arttext. Acesso em: 6 fev. 2007

LOPES, P.M.O. et al. Balço de Energia num pomar de mangueira irrigado. **Revista Brasileira de**

Agrometeorologia, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.

MASSHEDER, J.M.; MONCRIEFF, J.B. **Edisol**. Operations Manual. Edinburg: Institute of Ecology and Resource Management, 1997.

MONCRIEFF, J.M. et al. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. **Journal de Hydrology**, Amsterdam, v. 188-189, p. 589-611, 1997.

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.M. **Principles of environmental physics**. 2nd. ed. London: Edward Arnold, 1990. 291 p.

PEREIRA, P.A.A. et al. Produto feijão: perspectivas de produção, do consumo e do melhoramento genético. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 5., 2001, Teresina. **Avanços tecnológicos no feijão caupi**: anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p. 307-311. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).

PARÁ. Secretaria Executiva de Agricultura. Pará, 2006. Disponível em: <http://www.sagri.pa.gov.br/>. Acesso em: 15 mar. 2007.

SAN JOSÉ, J.J. et al. 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**, Amsterdam, v.116, p. 197-219, 2003.

STULL, R.B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. 680 p.

TEIXEIRA, A.H.C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 28-32, 2001.

VIEIRA, R.F. et al. **Leguminosas graníferas**. Viçosa: UFV, 2001. 206 p.

YOSHIMOTO, M.; OUE, H.; KOBAYASHI, K. Energy balance and water use efficiency of rice canopies under free-air CO₂ enrichment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 133, p. 226-246, 2005.