



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Amanda Nascimento Pinheiro**

**AVALIAÇÃO DA FRAÇÃO EVAPORATIVA EM ECOSISTEMA DE FLORESTA  
E CULTURA AGRÍCOLA NA REGIÃO AMAZÔNICA.**

**282**

**BELÉM – PARÁ  
DEZEMBRO – 2010**

AMANDA NASCIMENTO PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DA FRAÇÃO EVAPORATIVA EM ECOSSISTEMA DE FLORESTA  
E CULTURA AGRÍCOLA NA REGIÃO AMAZÔNICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. José de Paulo Rocha da Costa

Belém – PA

Dezembro – 2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

P654a Pinheiro, Amanda Nascimento

Avaliação da fração evaporativa em ecossistema de floresta e cultura agrícola na região Amazônica / Amanda Nascimento Pinheiro; Orientador: José de Paulo Rocha da Costa – 2010

29f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Meteorologia agrícola. 2. Balanço de energia. 3. Fração evaporativa. 4. Método de Bowen. 5. Evapotranspiração. I. Costa, José de Paulo Rocha da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20° ed.: 630.2515

---

AMANDA NASCIMENTO PINHEIRO

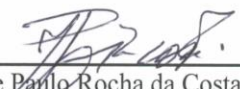
**AVALIAÇÃO DA FRAÇÃO EVAPORATIVA EM ECOSSISTEMA DE FLORESTA  
E CULTURA AGRÍCOLA NA REGIÃO AMAZÔNICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação: 20 / 12 / 10.

Conceito: Excelente

Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. José de Paulo Rocha da Costa - Orientador  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_  
Prof. Dimitrie Nechet - Membro  
Especialista em Meteorologia Tropical  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>ª</sup> Isa Maria Oliveira da Silva - Membro  
Doutora em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

Dedico à minha mãe, Ana Cláudia dos S. Nascimento.  
À minha avó Raimunda dos S. Nascimento.  
E à minha tia Aldenora Moraes.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por todas as minhas conquistas, pela família que tenho, pelos amigos que fiz na vida e por atender a todas as minhas orações.

À minha mãe Ana Cláudia dos S. Nascimento e a minha avó Raimunda dos S. Nascimento; Pelos exemplos de dedicação, humildade, honestidade e persistência pela Fé, que me fizeram construir meus sonhos em bases sólidas, e que por muitas vezes sacrificaram-se para que eu não desistisse dos meus objetivos.

À minha tia Aldenora Moraes.

Às minhas grandes amigas Pâmela Ávila, Ana Cláudia Azevedo e Letícia Rodrigues, que sempre me acompanharam durante minha vida acadêmica que direta e indiretamente me ajudaram a alcançar os meus objetivos nessa árdua jornada acadêmica.

À todos os professores da Meteorologia.

À meu orientador José de Paulo Rocha da Costa, pela paciência, e por tornar possível o desenvolvimento deste trabalho.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

## RESUMO

O estudo da interação biosfera-atmosfera nos permite não apenas descrever ou caracterizar as transferências de energia e massa que ocorrem junto à superfície terrestre, que se acha associada com as características da vegetação e condições hídricas do solo, mas também, analisar as influências dos fatores ambientais na complexa relação da planta frente às condições do meio ambiente. O presente estudo teve como principal objetivo, analisar o método da fração evaporativa em um ecossistema de floresta e cultura de soja, com a finalidade de avaliar esse método na estimativa de evapotranspiração nesses dois tipos cobertura vegetal, uma vez que a evapotranspiração é uma das principais componentes do ciclo hidrológico natural. Os dados da cultura soja (*Glycine max* (L.) Merrill.), com área aproximada de 200 hectares e cuja estação de cultivo se estendeu de fevereiro a junho de 2007, está situado no município de Paragominas, região nordeste do Estado do Pará. Os dados referentes ao ecossistema de floresta foram coletados na reserva florestal de Caxiuanã, localizada na região arquipélago do Marajó, parte Oeste do estado Pará. Os resultados mostraram que o método da fração mostrou bom desempenho na estimativa da evapotranspiração, quando comparado com métodos tradicionalmente utilizados em diversos tipos de cultura agrícola (Bowen e Penman-Monteith). Na comparação da partição do saldo de radiação, constatou-se que em média 70% é destinado ao fluxo de calor latente na cultura de soja, enquanto que na floresta, o fluxo de calor latente representa 62% do saldo de radiação.

**Palavras-chave:** Meteorologia agrícola. Balanço de energia. Fração evaporativa. Método de Bowen. Evapotranspiração.

## ABSTRACT

The study of biosphere-atmosphere interaction allows us not only to describe or characterize the mass and energy transfers that occur near the surface, which is found associated with the characteristics of vegetation and soil water conditions, but also examine the influences of the factors environmental complex in relation to the front of the plant environmental conditions. This study aimed to analyze the method of evaporative fraction in a forest ecosystem and soybean, in order to evaluate this method in estimating evapotranspiration  $m$  in two vegetation types, as evapotranspiration is one of main component of natural hydrological cycle. The culture data (*Glycine max* (L.) Merrill.) With an approximate area of 200 hectares and whose growing season extended from February to June 2007, is located in the municipality of Paragominas, northeastern Pará State. Data regarding the forest ecosystem were collected in the forest reserve Caxiuanã, located in the archipelago of Marajo, the western part of Pará state results showed that the fraction method showed good performance in the estimation of evapotranspiration compared with methods traditionally used in various types of crop (Bowen and Penman-Monteith). In comparing the partition of net radiation, it was found that on average 70% is going to latent heat flux in soybean, while in the forest, the latent heat flux represents 62% of net radiation.

**Keywords:** Agricola meteorological. Energy balance. Evaporative fraction. Bowen ratio. Evapotranspiration.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>PARTIÇÃO DE ENERGIA .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>DADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Balanco de energia à superfície .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Método da razão de bowen .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>26</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>27</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O cenário mais provável nas próximas décadas, segundo as previsões do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), apontam para a ocorrência de fortes modificações no meio ambiente global. Nesse contexto, a vegetação que interage e responde diretamente às condições ambiente, tem importante função de espelho do clima, onde se refletirão as mudanças causadas por processos naturais ou geradas pela ação do homem modificando a composição da atmosfera e através da ocupação e uso da terra.

Entender como responde a mudança de uma vegetação natural de floresta para transformar em monocultura, permite avaliar os impactos da mudança de ocupação e uso da cobertura do solo no equilíbrio entre floresta e clima, bem como, na sustentabilidade dos recursos hídricos e sua influência no clima local e regional.

Nos últimos anos, o aspecto que tem causado preocupação a ambientalistas e a comunidade científica é a possibilidade de transformar extensas áreas de floresta nativa em pastagem ou monocultura e a conseqüente mudança nas propriedades do ciclo hidrológicas nessas áreas e alteração nas características climáticas regionais. Estudos desenvolvidos por Negri et al. (2004); Ramos da Silva et. al (2008) buscaram explicar como o clima amazônico em escala regional ou global, responde às mudanças de uso do solo em relação a vegetação de pequeno porte. Os resultados alcançados nesses estudos, segundo Myhre e Myhre (2003) são bastante incertos, em virtude de não haver ainda consenso quanto ao tipo e tamanho da vegetação que deve existir, além de outras informações, como valor do albedo da superfície, profundidade de raiz, comprimento característico da rugosidade superficial e capacidade de interceptação da precipitação pelo dossel dos diferentes tipos de vegetação.

A fração evaporativa (FE) que é definida pela razão entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação tem se tornado nos últimos tempos uma importante ferramenta do sensoriamento remoto, em diversos estudos para determinar as necessidades hídricas, evapotranspiração e coeficiente de cultivo para várias espécies cultivadas principalmente nos perímetros irrigados. Portanto, o objetivo deste estudo foi analisar a fração evaporativa para um ecossistema de floresta e cultura de soja com a finalidade de testar essa metodologia na estimativa de evapotranspiração nesses dois tipos cobertura vegetal.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PARTIÇÃO DA ENERGIA

De acordo com Andrade *et al.* (2007) partindo do princípio de que a diferença entre a energia que entra e a energia que sai de um sistema é a energia captada ou utilizada por ele, pode-se dizer que o saldo de radiação líquida ( $R_n$ ), será particionado em: calor sensível (H), calor latente (LE), parte será o fluxo de calor no solo (G), parte ficará armazenada na biomassa e no dossel (S) e outra parcela será utilizada no processo de fotossíntese (P). A partição de  $R_n$  em LE influi diretamente na determinação do ciclo hidrológico, no desenvolvimento da camada limite, no tempo e no clima, influenciando diretamente na precipitação. Alterações na partição de energia entre calor latente e calor sensível podem afetar os fluxos da superfície e como resultado modificar o clima (FOLEY *et al.*, 2003).

Além da medição da quantidade de água que é perdida de uma superfície a razão de Bowen, em virtude de sua formulação, fornece informações adicionais valiosas sobre a distribuição ou partição de energia disponível na superfície (SUOMI e TANNER, 1958; TANNER, 1961). A energia disponível na superfície da Terra é consumida principalmente como calor sensível H (mudança de temperatura, sem mudança de fase da água) e calor latente LE (a mudança de fase da água com pouca mudança de temperatura). Segundo Garratt (1984), apud Savage; Everson ; Metelerkamp (2009) afirmam que o método de Bowen tem sido tradicionalmente empregado como uma ferramenta de pesquisa para se avaliar a partição do saldo de radiação em fluxo de calor sensível e calor latente sobre superfícies moderadamente acidentadas, superfícies de cultura extensiva para determinar respostas da cultura aos diferentes tratamentos, as condições meteorológicas mais diferentes que causam diferentes demandas atmosféricas e hídricas.

Tendo como base o balanço de energia a fração evaporativa que é definida pela razão entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação, é aproximadamente constante durante o período diurno (SHUTTLEWORTH et al., 1989). Segundo Cabral et al. (2007) os fluxos de superfície definem as entradas e saídas de água e a energia na baixa atmosfera, e dependem, principalmente, da oferta de radiação solar, umidade do solo e evapotranspiração, da cobertura vegetal e da nebulosidade, além das propriedades dinâmicas da camada limite planetária.

Zhang e Lemeur (1995) utilizaram dois métodos para conversão de valores instantâneos de evapotranspiração em totais diários. O primeiro método considera que o curso diário da evapotranspiração é similar ao da irradiância solar e pode ser aproximada por uma função seno. O segundo método assume que a fração evaporativa é constante durante o período diurno. Daí a evapotranspiração diária poder ser determinada a partir da fração evaporativa e o total diário de energia disponível. Os autores concluíram que ambos os métodos podem ser usados para converter valores instantâneos de evapotranspiração obtida por sensoriamento remoto em totais diários para dias de céu claro.

De acordo com Silva *et al.* (2007) quando FE tende a zero há um declínio na quantidade de umidade próxima a superfície do solo e quando tende a 1 há mais energia disponível nos índices hídricos. A fração evaporativa aperfeiçoa os estudos que envolvem imagens instantâneas de satélite com estudos relativos a interações entre a superfície da terra e a atmosfera. Shuttleworth *et al.* (1989) compararam valores da fração evaporativa ao meio-dia com valores médios de todo dia e concluíram que a diferença era de apenas 1,5%. Há de se notar que nesse estudo a escala foi limitada a uma vegetação relativamente homogênea de pradaria. Em outra ocasião, Sene (1994) concluiu que a utilização do valor da FE do meio-dia é um bom indicador da fração evaporativa sobre vinhedos. Há diversos estudos sobre a coerência na utilização da fração evaporativa para diferentes superfícies e condições de tempo. Como por exemplo, estudos realizados por Moura *et al.* (2001) em pomar de goiabeira no sub-médio São Francisco.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Este estudo foi realizado em dois ecossistemas distintos, um de cultura agrícola e a outro de floresta nativa. O ecossistema de cultura agrícola (Figura 1), com extensão aproximada de 200 hectares está situado no município de Paragominas, tendo localização geográfica de (latitude: 02°59'08''S, longitude: 47°19'57'' W e altitude de 122 m), região nordeste do estado do Pará. A área acima referida foi semeada com soja (*Glycine max* (L.) Merrill.), cuja estação de cultivo se estendeu de fevereiro a junho de 2007. O Município de Paragominas com área de aproximadamente 19,5 km<sup>2</sup> está localizado na parte central da mesorregião do nordeste do Estado do Pará, está cerca de 280 km distante de Belém. O clima predominante da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köeppen, ou seja, clima tropical chuvoso com estação seca bem definida.



Figura 1- Vista da área de estudo.

O ecossistema de floresta está situado na reserva florestal de Caxiuanã (Figura 2), que compreende uma área de 33 mil hectares, da qual 80% correspondem à floresta de terra firme e 20% é ocupada por várzeas e igapós (LISBOA, 1997). Tem localização geográfica de (00°50'31''S; 46°38'56''W; e altitude de 30m) e pertencente, a região do arquipélago do Marajó, cuja floresta possui um dossel com altura média de 36 metros. O clima da região é **Am** segundo a classificação de Köeppen, isto é, clima tropical quente

com curto período de estiagem e do tipo B'1 W'A', segundo a classificação de Thornthwaite, ou seja, clima megatérmico, com moderada deficiência de precipitação na primavera.

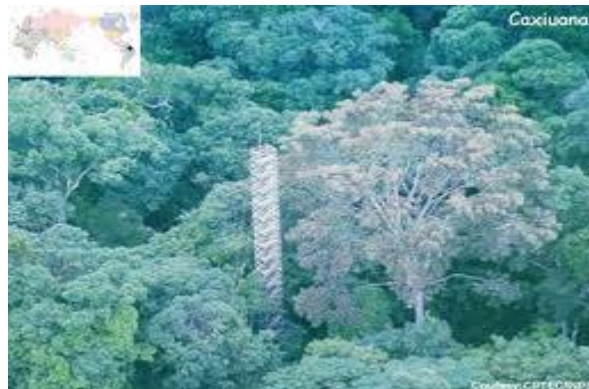


Figura 2- Vista da área da reserva de Caxiuanã.  
Fonte: (MANZIH, 2004)

### 3.2 DADOS

Os dados do ecossistema agrícola foram obtidos através de uma estação automática, durante experimento de campo conduzido no período de 24 de fevereiro a 17 de junho de 2007, onde em uma estrutura metálica (mastro) de três metros de altura foram instalados sensores para medir os perfis de temperatura do ar e velocidade do vento (2 níveis), radiação solar (incidente refletida e transmitida ao solo), saldo de radiação e fluxo do calor para o interior do solo, todos ligados a datalogger CR10X (Campbell Scientific, Inc.) e multiplexador AM416 (Campbell Scientific, Inc.). Na área experimental a bordadura existente foi superior a razão 1:100 que é exigida para uma boa representatividade dos dados registrados. Detalhes do experimento e da rotina de coleta de dados podem encontrados em Costa (2008).

No ecossistema de floresta, os dados diários do saldo de radiação e fluxo de calor para o interior do solo foram medidos através de estação automática e registrados por um sistema automático de aquisição de dados (CR10, Campbell Scientific). Os fluxos de calor latente e calor sensível foram medidos através do sistema de covariâncias, realizado com anemômetro sônico licor path line 700. Os sistemas de registros dos dados foram instalados no topo de uma torre micrometeorológica com aproximadamente 55 metros de altura, instalada no interior da floresta.

### 3.3 METODOLOGIA

Para que pudéssemos analisar os valores e as estimativas referentes aos ecossistemas de floresta e cultura, organizou-se em planilha Excel, os dados referentes a floresta, no mesmo período em que ocorreu o ciclo de cultivo da soja para assim, embora distantes, avaliar as respostas da cobertura vegetal às condições reinantes do meio ambiente.

#### 3.3.1 Balanço de energia à superfície

A energia recebida por uma superfície evaporante deve ser igual à perda, consumida e armazenada pela superfície, para que haja equilíbrio entre a energia que chega e a que sai, como determina o princípio de conservação da energia. Portanto, a energia disponível à superfície  $Rn$  para desenvolvimento dos processos que inter-relacionam o sistema solo-planta-atmosfera pode ser descrita pela equação:

$$Rn = H + LE + G \quad (01)$$

em que,  $Rn$  é o fluxo saldo de radiação;  $H$  é o fluxo de calor sensível;  $LE$  é o fluxo de calor latente e  $G$  é o fluxo de calor para o interior do solo.

O conceito de fração evaporativa com base no balanço de energia à superfície é definido como:

$$FE = \frac{LE}{Rn - G} \quad (02)$$

em que FE é a fração evaporativa

### 3.3.2 Método da Razão de Bowen

Uma forma de se verificar a distribuição do saldo de radiação à superfície é através da razão de Bowen, definida pela razão entre os fluxos de calor sensível e calor latente e assim, poder avaliar a partição da energia disponível à superfície é descrita pela expressão abaixo:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (03)$$

em que,  $\beta$  é a razão de Bowen.

A ordem de grandeza de  $\beta$  depende fundamentalmente das condições hídricas da superfície evaporante. Se  $\beta$  é maior do que a unidade indica que  $H$  é maior do que  $LE$  e a maior parte da energia transportada é na forma de calor sensível, proveniente de superfície com restrição no teor de umidade; neste caso, a condição térmica do ar é relativamente quente. Por outro lado, se  $\beta$  for menor do que a unidade,  $LE$  é maior de que  $H$  e o calor transferido para o meio atmosférico é, principalmente na forma latente. Esta situação não contribui diretamente para o aquecimento do ar, mas, concorre para manter a umidade na camada adjacente; isto se verifica normalmente em climas temperados e úmidos (PEREIRA *et al.* 1997)

Valores negativos de  $\beta$  indicam que os fluxos apresentam sinais diferentes. Esta situação é comum à noite, quando o fluxo de calor sensível se processa da atmosfera para a superfície ( $H$  positivo); porém, a evaporação precisará continuar, para que o fluxo de calor latente seja transferido da superfície para a atmosfera ( $LE$  negativo).

Neste estudo  $\beta$  foi avaliado segundo a expressão (PEREIRA *et al.* 1997):

$$\beta = \gamma \frac{T_s - T_a}{e_s - e_a} \quad (04)$$

em que,  $T_s$  é a temperatura da superfície evaporante;  $T_a$  é a temperatura do ar acima da superfície evaporante;  $e_s$  e  $e_a$  são a pressão de saturação e pressão real do vapor d'água do ar e  $\gamma$  é a constante psicrométrica, definida por:

$$\gamma = \frac{P c_p}{\varepsilon \lambda} \quad (05)$$

em que,  $P$  é a pressão atmosférica;  $c_p$  é o calor específico do ar à pressão constante; sendo  $\varepsilon$  a razão entre o peso molecular do vapor d'água  $M_w$  e do ar  $M_a$ , ou seja,  $M_w/M_a = 0,622$  e  $\lambda$  o calor latente de vaporização.

A pressão de saturação de vapor, função da temperatura do ar é expressa por:

$$e_s = 0,6108 \exp \left[ \frac{17,27 T_a}{T_a + 237,3} \right] \quad (06)$$

e a pressão real de vapor determinada por:

$$e_a = \frac{e_s U_r}{100} \quad (07)$$

em que,  $U_r$  é a umidade relativa do ar.

Combinando-se as equações (1) e (2) e admitindo-se  $\beta \neq -1$ , os fluxos de calor sensível  $H$  e de calor latente  $LE$  podem ser expressos pelas relações (CAMPBELL 1998; PEREZ *et al.* 1999; SILVA *et al.* 2007; PEREZ *et al.* 2008):

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (8)$$

$$H = \frac{\beta}{1 + \beta} (Rn - G) \quad (9)$$

Em que, o conjunto de expressões (1), (8) e (9) constituem a formulação básica do método da razão de Bowen, com ênfase no saldo de radiação disponível á superfície, o qual permite estabelecer o aquecimento do ar e a energia consumida na evaporação, se todas as grandezas que nelas figuram forem conhecidas ou mensuradas.

Para obtermos a evapotranspiração da cultura utilizou-se a equação de Penman-Monteith (ETPM), desenvolvida dentro do conceito do “Big Leaf”, a qual a partir do

balanço de energia e conceitos de resistência aerodinâmica do ar e da cultura é descrita por:

$$ETPM = \frac{\Delta(Rn - G) + 86400 \frac{\rho c p}{ra} (es - ea)}{L \left[ \Delta + \gamma \left( 1 + \frac{rc}{ra} \right) \right]} \quad (10)$$

Em que  $ra$  é a resistência aerodinâmica e  $rc$  é a resistência da cultura ao transporte de vapor.

A resistência aerodinâmica do ar foi determinada segundo PEREIRA et al. (1997), por:

$$ra = \frac{250}{1 + 0,256U^2} \quad (11)$$

Em que  $U^2$  é a velocidade do vento medida a 2 metros acima da cultura.

A inclinação da curva de pressão de saturação do vapor ( $\Delta$ ) em função da temperatura do ar ( $Ta$ ) foi calculada pela expressão (ALLEN et al., 1998):

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp \left( \frac{17,27Ta}{Ta + 237,3} \right) \right]}{(Ta + 237,3)^2} \quad (12)$$

A resistência da cultura ao transporte de vapor foi obtida através de medidas com porômetro (porometer-DELT-T Devices) (COSTA, 2008).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 mostra a variação diária do fluxo de calor latente em área de floresta (LE-f) e na cultura de soja (LE-c) em função de dias após a semeadura (DAS). Podemos observar que os valores de LE-c foram superiores aos valores de LE-f na fase inicial, o inverso e mais evidente pode ser percebido na fase final do cultivo. Na fase inicial, atribui-se que os valores mais elevados estejam associados com a maior fração de área do solo exposta e na fase final, acredita-se que seja decorrente da maturação das plantas. No intervalo aproximado de 37 a 78 DAS, que corresponde ao período de maior desenvolvimento da cultura, verifica-se que os valores não mostram diferença significativa, exceção para os casos observados respectivamente nos dias 35, 55 e 70 DAS, onde se supõe estarem relacionados com características específicas do local tais como: condições de vento, nebulosidade e efeito local de escala maior na precipitação da região.

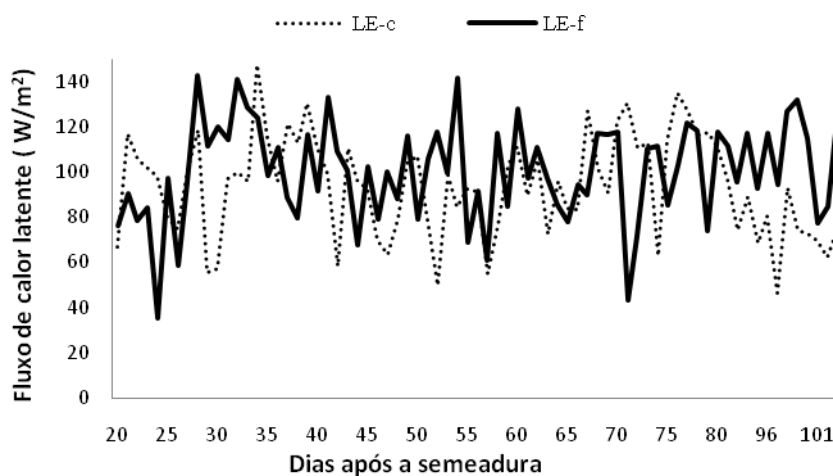


Figura 3-Variação diária dos fluxos de calor latente na área de floresta (LE-f) e na cultura de soja (LE-c).

A Variação diária dos fluxos de calor sensível na área de floresta (H-f) e na cultura de soja (H-c) (Figura 4) mostra que os valores de H-f foram maiores durante quase todo o período de cultivo, com exceção de poucos dias, no final do ciclo, onde os valores de H-c tiveram uma acentuada elevação, chegando mesmo a ser igual e até superior, aos valores observados na floresta. Os valores de H-f mais elevados estão relacionados com a situação de que a cobertura florestal praticamente não varia com o

tempo, enquanto que na área de soja ocorre o desenvolvimento de um ciclo de cultivo. Os valores elevados de H-c no final do período de cultivo supõem-se tenham ocorrido em função do fenômeno da senescência (queda das folhas maduras), o qual modifica substancialmente as propriedades de reflexão e absorção na área como um todo.

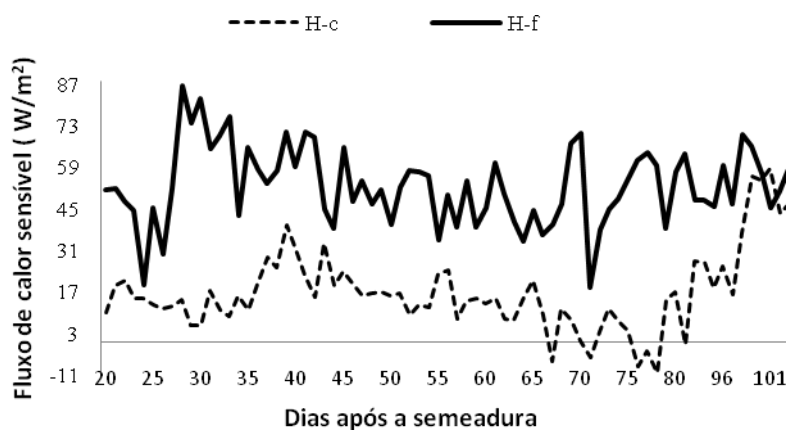


Figura 4 - Fluxo diário de calor sensível nas áreas de cultura de soja (H-c) e de floresta (H-f).

Na Figura 5 observam-se os valores diários da fração evaporativa para área de floresta (FE-f) e cultura de soja (FE-c). Podemos observar que os valores na soja foram superiores aos observados na floresta durante quase todo o ciclo de cultivo, com exceção do observado no final da estação de cultivo, onde os valores de FE-s mostraram acentuado decaimento, chegando mesmo a serem menores do que os valores de FE-f. Verificamos ainda, que os valores de FE-f mostram pequena variabilidade diária, enquanto na soja, percebe-se que a pequena variabilidade apenas ocorreu no período de 20 a aproximadamente 66 DAS, em seguida observa-se aumento expressivo nos valores FE-c (aproximadamente de 67 a 80 DAS), que se atribui estar associado com a época em que a cultura transpira numa razão máxima, associada com a fase de enchimento da vagem. Posteriormente, os valores de FE-c mostram significativo decaimento, certamente em decorrência da fase de senescência.

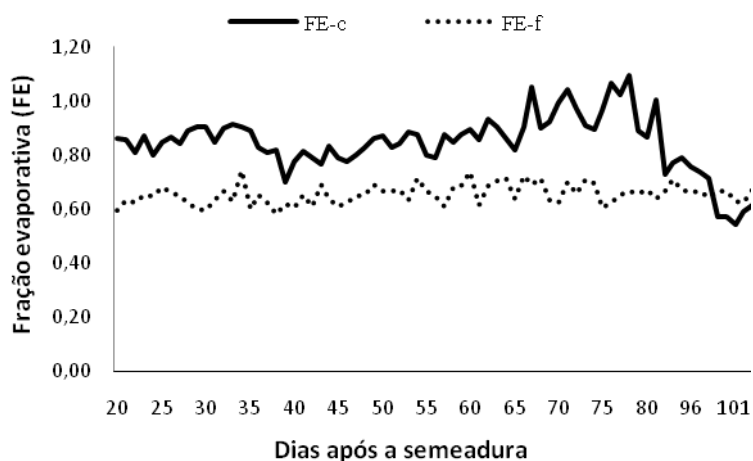


Figura 5 - Variação diária da fração evaporativa estimada nas áreas de cultura de soja (FE-c) e de floresta (FE-f).

A variação diária do saldo de radiação ( $R_n$ ) e dos fluxos de calor latente (LE) e sensível (H) na área de floresta (Figura 6) mostra a ordem de grandeza desses fluxos. Os valores máximos de  $R_n$ , LE e H foram iguais a 229,5; 142,7 e 86,3  $W/m^2$ . Enquanto que os valores mínimos foram de 53,1; 35,2 e 19,3  $W/m^2$ .

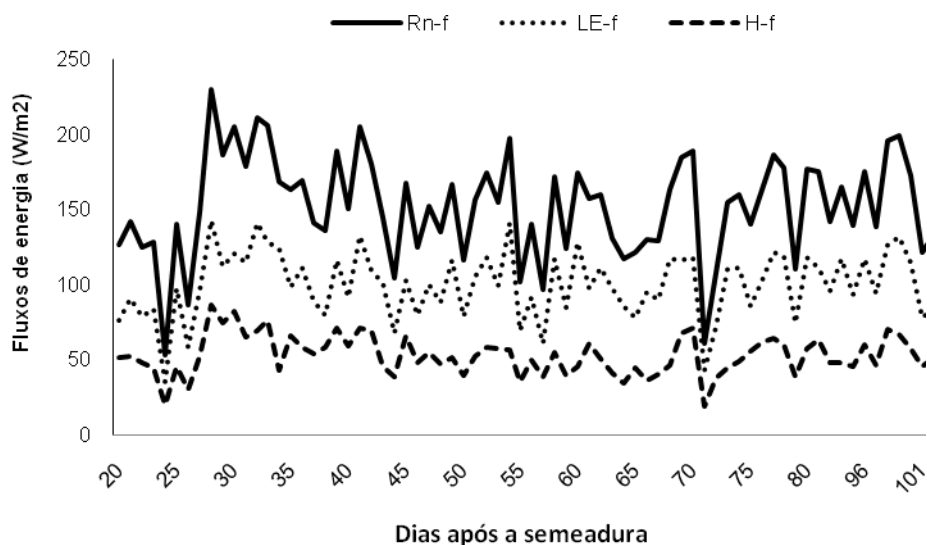


Figura 6 – Variação das componentes do saldo de radiação na área de floresta.

Na figura 7 observa-se a variação diária dos fluxos de Rn, LE e H na cultura soja. Onde podemos observar que Rn, LE e H atingiram valores máximos de 191,2, 135,1 e 58,6 W/m<sup>2</sup> e valores mínimos respectivamente de 69,9, 46,5 e 3,3 W m<sup>2</sup>. Em termos de valores máximos e mínimos dos fluxos acima referidos nos dois locais, pode ser visto que na floresta os valores foram mais elevados do que os observados na cultura de soja. Contudo, quando se analisou (Tabela 1), as porcentagens da razão entre os fluxos de calor latente e calor sensível pelo saldo de radiação foi observado que a razão do calor latente na cultura de soja foi maior do que a estimada na floresta; enquanto que a razão de calor sensível na cultura de soja foi menor. A análise desses dados mostra que, do saldo de radiação à superfície, a maior porcentagem sai na forma de fluxo de calor latente, sendo em termos médios de aproximadamente 68% na cultura de soja e em torno 52% na floresta; na forma de calor sensível, que se destina ao aquecimento do ar, a maior porcentagem observada ocorreu na área de floresta.

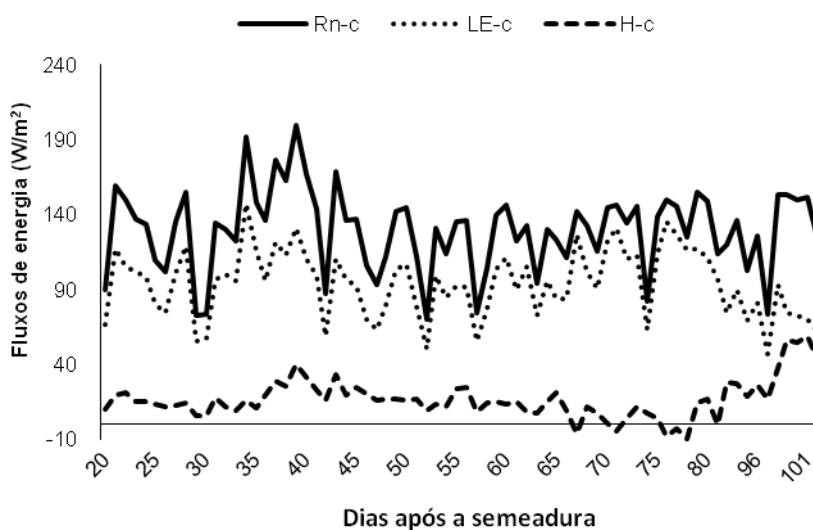


Figura 7 - Variação das componentes do saldo de radiação na cultura de soja.

TABELA 1- Valores máximos e mínimos das componentes do balanço de radiação e porcentagem da razão entre LE e H por Rn sobre a floresta e cultura de soja.

Fluxos	$R_n$ ( $W m^2$ )	$LE$ ( $Wm^2$ )	$H$ ( $Wm^2$ )	$LE/R_n$ (%)	$H/R_n$ (%)
<b>Soja</b>					
Máximo	191,9	135,1	58,6	70,4	30,5
Mínimo	69,9	46,5	3,3	66,5	4,7
<b>Floresta</b>					
Máximo	229,5	142,7	86,3	62,8	37,61
Mínimo	85,9	35,2	19,3	41,0	36,3

A variação diária da evapotranspiração da cultura de soja determinada através do método da razão de Bowen (ETBW) e estimada por meio da fração evaporativa (ETFE-c) é confrontada com a fração evaporativa estimada para a floresta (ETFE-f) (Figura 8). Pode ser visto que os valores estimados através do método de Bowen (ETBW) e da fração evaporativa (ETFE-c) mostraram concordância significativa e foram superiores aqueles estimados para a floresta através da ETFE-f. Como ETBW e ETFE-c são para o mesmo local (cultura) mostram significativa coerência. O fato dos valores terem sido mais elevados na cultura demonstra claramente que está relacionado com características como: tipo de vegetação e condições ambientais.

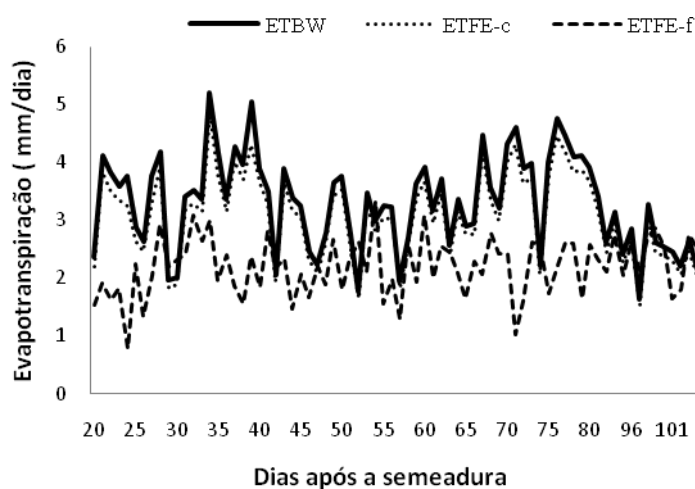


Figura 8 – Variação diária da evapotranspiração estimada na cultura pela fração evaporativa (ETFE-c) e método de Bowen (ETBW) e na floresta pela fração evaporativa (ETFE-f).

A variação de evapotranspiração da cultura determinada através do método de Penman-Monteith (ETPM) é confrontada com a estimada para a floresta através da Fração evaporativa (ETFE-f) (Figura 9). Pode se verificar que os valores de ETFE-f se mostraram menores do que aqueles observados na soja. Acredita-se que isso tenha ocorrido em função da menor FE observada para floresta (Figura 5) durante todo período de cultivo. Podemos observar também, algumas situações em que os valores da evapotranspiração observados na cultura e na floresta mostraram comportamento oposto. Isto é, os valores da ETPM aumentam, enquanto os valores de ETFE-f diminuem, sendo mais evidente no intervalo de 35 a 40 DAS. Supõe-se que estas situações ocorreram em função da presença de nuvens com ou sem eventos de precipitação, que causariam redução no saldo de radiação, com consequência direta na evapotranspiração.

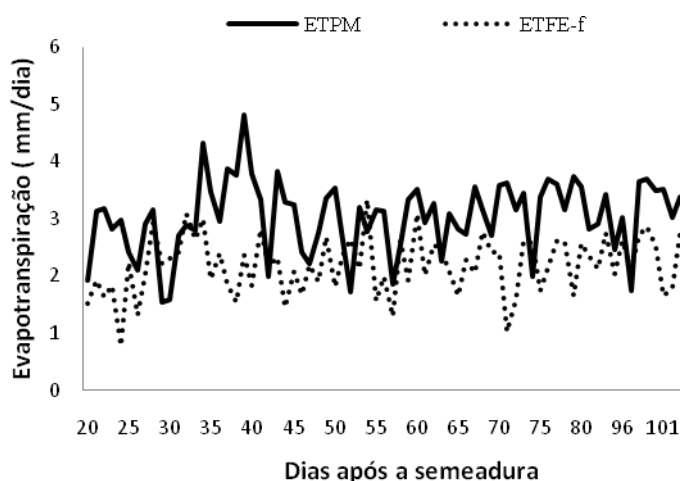


Figura 9 - Variação diária da evapotranspiração estimada na cultura pelo método de Penman-Monteith (ETPM) e na floresta através da fração evaporativa (ETFE-f).

A Figura 10 mostra a variação diária da evapotranspiração na cultura, estimada através dos métodos de Bowen (ETBW), Penman-Monteith (ETPM) e Fração evaporativa (ETFE-c). Observa-se que as estimativas mostraram-se semelhantes durante todo período de cultivo. A explicação para isto tenha ocorrido é devido ao fato de ambos os métodos terem base no balanço de energia, apesar do método de Penman-Monteith depender das características morfológicas e fisiológicas das plantas e aerodinâmica sobre o dossel, os valores não mostraram diferença significativa daqueles estimados através dos outros métodos.

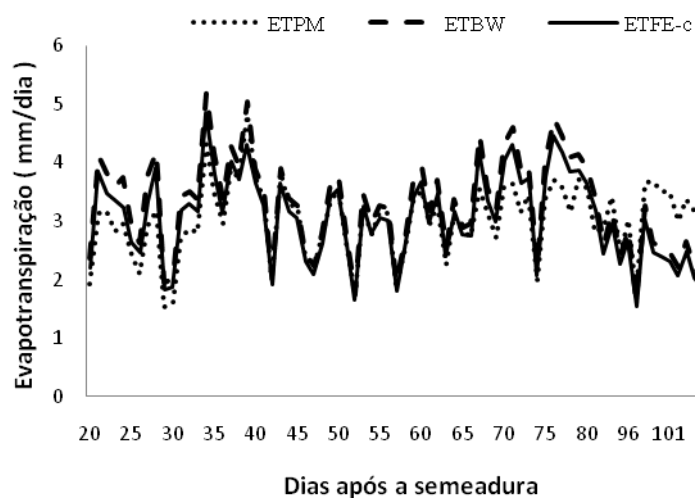


Figura 10 – Variação diária da evapotranspiração da cultura, estimada através dos métodos de Bowen (ETBW), Penman-Monteith (ETPM) e Fração evaporativa (ETFE-c).

## 5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que a fração evaporativa mostrou-se maior na cultura de soja do que no ambiente de floresta durante todo ciclo de cultivo. Observou-se também que as estimativas de evapotranspiração através dessa metodologia mostraram valores mais elevados na cultura de soja e que, quando comparada com a estimativa de outros métodos como: Bowen e Panman-Monteith apresentaram significativa concordância. Portanto, através deste trabalho concluiu-se que o método da fração evaporativa é válido para estimativa de evapotranspiração em ambiente de cultura agrícola de soja. Notou-se ainda que do balanço de energia na cultura aproximadamente 70% foi destinado ao fluxo de calor latente, enquanto que no ambiente de floresta apenas 62%.

## REFERENCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. – Crop evapotranspiration: **Guidelines for computing crop water requirements. (Irrigation and drainage paper 56)**. Rome, FAO, p. 300, 1998.

ANDRADE, N.L.R; AGUIAR, R.G; SANCHES, L.; ALVES, E.C.R.F;NOGUEIRA, J.S.Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição amazônica-cerrado, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24,n.3, p. 346-355,2009.

CABRAL, F. C. Simulação de fluxos de superfície sobre diferentes tipos de vegetação, In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 5., 2007, Santa Maria-RS. *Anais*. Santa Maria-RSUFSM/CRS/INPE, 2007. p. 269-272.

CAMPBELL Scientific, Inc. Bowen ratio system with CO2 Flux (Revision). 1998. Instruction manual, p.51.

COSTA, J. P. R. *Modelagem e simulação das interações biosfera-atmosfera em plantio de soja na Amazônia*. 2008. 102f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FOLEY, J. A.; COSTA, M. H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontier Ecology Environmet*. v. 1, n. 1, p. 38-44. 2003.

GARRATT, J.R. The measurement of evaporation by meteorological methods. In: SHARMA, M.L. (Ed.). *Evapotranspiration from Plant Communities*. Amsterdam: Elsevier, 1984. p. 99-117.

LISBOA, P.L.B (Org). *Caxiuanã*. Belém: Museu Paraense Emilio Goeld. 1997. 446p.

MANZIH, O.A. *Regional hydroclimate project*, 2004. Disponível <<http://www.eol.ucar.edu/projects/ceop/dm/insitu/sites/lba/Caxiuana/Forest/>>Acesso em: 17/12/2011.

MOURA, M.S.B; AZEVEDO, P.V. *Avaliação da fração evaporativa para conversão de medidas instantâneas em valores diários de evapotranspiração*, Campina Grande-UFPB, 2001. 5p. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

MYHRE, G.; MYHRE, A. Uncertainties in radiatives forcing due to surface albedo changes caused by land-use changes. *Journal of Climate*, v.16, p. 1511-1528. 2003.

NEGRI, A. J.; ADLER, R.; XU, L.; SURRATT, J. The Impact of Amazonian Deforestation on Dry Season Rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, p. 1306-1319. 2004.

PEREZ, P.J; CASTELLVI, F., MARTINEZ-COB, A. A simple model for estimating the Bowen ratio from climatic factors for determining latente and sensible heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, p. 25-37. 2008.

PEREZ, P.J; CASTELLVI, F.; IBANÑEZ, M.; ROSELL, J.I. Assessment of reability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.97, p. 141-150. 1999.

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

RAMOS DA SILVA, R.; WERTH, D.; AVISSAR, R. Regional Impacts of Future Land-Cover Changes on the Amazon Basin Wet-Season Climate. *Journal of Climate*, v. 21, p. 1153-1170, 2008.

SAVAGE, M. J; EVERSON, C. S; METELERKAMP, B. R. Bowen ration evaporation measurement in a remote montane grassland: Data integrity and fluxes. *Journal of Hydrology*, v. 376, p. 240-260, 2000.

SENE, K. J. Parameterisations for energy transfers from a sparse vine crop. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 71, p.1 – 18. 1994.

SILVA, R.B.C; BARRETO, P.N; NUNES, H.G.G.C; RODRIGUES, R.S; H.J.B; SILVA, R.M. Análise da variação do nível de fração evaporativa na floresta nacional de Caxiuana. *VI Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*, p. 137-140, Santa Maria-RS, 2009.

SHUTTLEWORTH, W. J.; GURNEY, R. J.; HSU, A. Y.; ORMSBY, J. P. *FIFE*: the variation in energy partition at surface flux sites. [S.l.]: IAHS Publ. n. 186. 1989.

SILVA, T.J.A.; FOLEGATTI, M.V.; SILVA, C.R.; ALVES JUNIOR, J.; BONFIM-SILVA, E.M. Balanço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da razão de Bowen. *Revista de Engenharia Agrícola-Jaboticabal*, v. 27, n. 2, p.392-403. 2007.

SUOMI, V.E.; TANNER, C.B. *Evapotranspiration from heat-budget measurements over a field crop. Trans. Am. Geophys. Union* n.39, 298–304. 1958.

TANNER, C.B.. A simple aero-heat budget method for determining daily evapotranspiration. *Trans. Int. Congr. Soil Sci.* 1, 203–209, 1961.

ZHANG, L.; LEMEURE, R. Evaluation of daily evapotranspiration estimates from instantaneous measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 74, p. 139 - 154, 1995.