

CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREA DE FLORESTA EM RONDÔNIA

Íria Vendrame¹, G. Fisch² e Válter F. De Albuquerque¹

Resumo - A partir de dados coletados em Ji-Paraná, Rondônia foi calculada a condutância estomática, através do modelo de Stewart(1988) e a condutância aerodinâmica, ambas horárias, para um sítio de floresta (Reserva Jaru). As medições utilizadas foram efetuadas em períodos compreendidos entre os anos de 1992 e 1993. De posse desses dados foram calculadas a evapotranspiração horária e a evapotranspiração diária, através da equação de Penman Monteith para ambos os sítios.

A seguir, os valores estimados de evapotranspiração através da equação de Penman-Monteith, levando-se em conta o modelo de Stewart para o cálculo da condutância estomática, foram comparados com a evapotranspiração medida indiretamente pelo aparelho Hydra. Os valores medidos também foram comparados aos de evapotranspiração estimada através da equação de Penman-Monteith, mas considerando-se valores típicos de condutância estomática para as estações chuvosa e seca, em um trabalho desenvolvido anteriormente por Maia Alves (1997), no qual fez-se um estudo utilizando os mesmos dados micrometeorológicos. Tomando-se as medições do aparelho Hydra como dados verdadeiros, verificou-se uma grande melhora na estimativa da evapotranspiração no presente estudo, em relação ao trabalho de Maia Alves.

Abstract - Evaporation was measured or estimated from meteorological data for one site in forest in Rondonia, Reserva Jaru. The evaporation was estimated using the Penman-Monteith (Monteith, 65) equation, considering the stomatal conductance estimated according with Stewart(1988) in an hourly basis. The evaporation had already been estimated for the same site, for the same period and data by Maia Alves(97) using Penman-Monteith but considering typical stomatal conductance values for dry season and for wet season. The evaporation estimated using Penman-Monteith, considering the Stewart model, shows a better correlation than the estimated by Maia Alves when compared to the measured values.

Palavras- Chave – Evapotranspiração, condutância estomática.

¹ CTA/ITA Pça Mal. Eduardo Gomes 50 12 228-900 hiria @infra.ita.cta.br

² IAE/CTA Pça Mal. Eduardo Gomes 50 12 228-900 gfisch@aca.iae.cta.br

INTRODUÇÃO

O Projeto ABRACOS(Anglo Brazilian Amazonian Climate Observation Study), uma parceria entre cientistas brasileiros e britânicos tinha como objetivo descobrir como o solo e a vegetação da Amazônia interagem com a atmosfera para afetar o clima a nível global (Gash e Nobre, 1997).

Para alcançar esse objetivo, foram colhidos dados micrometeorológicos em diferentes sítios da região Amazônica. Dessa forma, conseguiu-se melhorar a maneira de representar a interação vegetação-atmosfera na pastagem, uma vez que esta usualmente substitui a floresta tropical. Coletaram-se também dados climáticos a fim de validar algumas das previsões dos modelos de circulação geral da atmosfera(MCGA).

Maia Alves (1997) realizou um estudo sobre a análise comparativa do regime hidrológico em áreas de floresta tropical e de pastagem na Amazônia, visando compreender de que forma o desmatamento afeta o ciclo hidrológico da região. Entretanto, ao incluir o efeito do processo estomático na estimativa da evapotranspiração usando a fórmula de Penman-Monteith, o autor utilizou dados de condutância estomática típicos das estações seca e chuvosa. Tais dados de condutância estomática foram obtidos de Wright et al. (1996) e representam as características de apenas um dia de medição.

Visando a complementação do estudo de Maia Alves (1997) e a correção de divergências ocorridas entre valores de evapotranspiração calculados e os valores obtidos experimentalmente, foi realizado o presente estudo, que estima a evapotranspiração usando um modelo de cálculo de condutância estomática, baseado em dados observacionais de radiação solar, de temperatura, de umidade no solo e de déficit de umidade específica.

SÍTIOS EXPERIMENTAIS

Em cada sítio escolhido para coleta de dados foi instalada uma estação meteorológica automática para coleta de dados micro-meteorológicos. Nos sítios de floresta, as estações foram instaladas no topo de torres de alumínio a 50m e mediram fluxo de radiação solar, saldo de radiação, temperatura do ar, umidade específica, velocidade e direção do vento e fluxo de calor conduzido ao solo.

A reserva Jaru é uma reserva florestal de propriedade do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, localizada a cerca de 80km de Ji-Paraná(RO) e a 120m de altitude. É caracterizada por uma altura média do dossel de cerca de 33m. As maiores espécies de árvores situadas ao redor da torre são: *Cedrella Odorata*, *Inga sp*, *Dioclea cf bicolor Bth.*, *Strychnos Amazonicus Krukoff*, *Protium Polybotrium* e *Leonia Glycicarpa Ruiz*.

METODOLOGIA

Cálculo da Evapotranspiração

A evapotranspiração é comumente calculada pela equação de Penman-Monteith (Monteith, 1965) :

$$\lambda E = \frac{sA + \rho C_p D_{ref} g_{av}}{s + \gamma(1 + g_{av} / g_{sb})} \quad (1)$$

sendo:

$$A = R_n - G - B \quad (1.a)$$

onde

E : evapotranspiração (W/m²)

λ : calor latente de vaporização da água (J/kg)

A : Energia disponível (W/m²)

R_n : Saldo de Radiação (W/m²)

G : Fluxo de calor no solo (W/m²)

B : variação do armazenamento de energia na biomassa (W/m²)

s : coeficiente angular da curva de umidade específica de saturação de vapor d'água e temperatura do ar (mb/°C)

C_p : calor específico do ar à pressão constante (J/kg°C)

ρ : densidade do ar seco (kg/m³)

D_{ref} : déficit de umidade específica na altura de referência

γ : constante psicrométrica ($\rho C_p / \lambda$)

g_{sb} : condutância estomática (m/s)

g_{av} : condutância aerodinâmica (m/s)

Para o cálculo da evapotranspiração devem ser calculados alguns parâmetros que não são coletados nas estações automáticas. A seguir, apresentam-se as metodologias para determinação desses parâmetros, que são respectivamente: condutância aerodinâmica; energia armazenada na biomassa (B); déficit de umidade específica (VPD) e condutância estomática.

Cálculo da condutância aerodinâmica

O cálculo da condutância aerodinâmica depende da vegetação presente no sítio, se é floresta ou pastagem .

Para sítio de pastagem tem-se:

$$G_a = 5,4V \quad (2)$$

Sendo,

V: velocidade do vento (m/s) ;
 G_a : condutância aerodinâmica (m/s) .

Para sítio de floresta tem-se :

$$G_a = V/33 \quad (3)$$

Sendo,

V : velocidade do vento ;
 G_a : condutância aerodinâmica .

Estimativa da energia armazenada na biomassa

Segundo Moore e Fisch (1986), a variação da energia armazenada na biomassa pode ser estimada através de medidas da temperatura da biomassa e da distribuição da biomassa. A variação dessa energia armazenada pode ser um componente significativo do balanço de energia em nível horário, quando a quantidade de biomassa é grande (no caso, de florestas tropicais). Apesar disso, estimativas acuradas desse componente do balanço de energia são de difícil obtenção e normalmente desprezadas nos cálculos, principalmente em análises de períodos longos.

Quando representa a média horária, B pode ser uma fração significativa de R_n , especialmente durante períodos de transição tal como à noite, ao nascer e no pôr do sol, ou após uma chuva. Como total diário B pode alcançar 5% a 10% de R_n para dias úmidos ou dias com chuva prolongada.

A variação da energia armazenada na biomassa é composta dos seguintes termos:

$$B = S_b + S_{bc} + S_t + S_q \quad (4)$$

onde:

S_b : variação da energia associada com a biomassa do caule;

S_{bc} : variação da energia com a biomassa das folhas e galhos;

S_t : variação da energia com a variação da temperatura do ar no dossel;

S_q : variação da energia com a variação da umidade específica;

Porém, nem sempre é possível obter medidas da temperatura da biomassa, da temperatura do ar do dossel e da umidade. Moore e Fisch (1986) propuseram uma parametrização mais simples para o cálculo da energia armazenada na biomassa, em áreas de floresta tropical.

$$B_i = 16,7dT_i + 28,0d_{qi} + 12,6dT_{i+1} \quad (5)$$

Onde,

B_i : energia da biomassa armazenada na hora i , ou seja , entre a hora i-1 e i , em W/m²;

dT_i : variação apresentada pela temperatura na hora i , em °C ;

dq_i : variação apresentada pela umidade específica na hora i , em g/kg ;

dT_{i+1} : variação apresentada pela temperatura na hora i+1 , em °C;

Déficit de umidade específica (VPD)

Usou-se a expressão 6 aproximada para o cálculo da pressão de vapor saturada $e_{sa(mb)}$ temperatura entre -5°C e 50°C :

$$e_{sa} = \exp(a+(bT-c)/(T-d)) \quad (6)$$

onde,

e_{sa} : pressão de vapor saturada em mb;

$a= 1,80956664$; $b= 17,2693882$;

$c= 4717,306081$ e $d= 35,86$;

T : temperatura de bulbo seco em K.

Para o cálculo da pressão de vapor numa temperatura qualquer foi usada a expressão:

$$e = e_{sa} - 0,666 (T - T_u) \quad (7)$$

onde,

T : temperatura de bulbo seco em $^{\circ}\text{C}$;

T_u : temperatura de bulbo úmido em $^{\circ}\text{C}$;

e_{sa} : pressão de vapor calculada conforme a expressão (4), com T igual a temperatura de bulbo úmido em K.

A umidade específica foi obtida a partir da da pressão de vapor, através da equação:

$$Q = 0,622 \frac{e}{1000 - 0,378e} 10^3 \quad (8)$$

onde,

e : pressão de vapor em mb;

Q : umidade específica em g/kg;

O fator 10^3 na expressão (8) foi usado para que a umidade específica fosse representada em g/kg.

Da mesma forma se obteve a umidade específica de saturação:

$$Q_{sa} = 0,622 \frac{e}{1000 - 0,378e_{sa}} 10^3 \quad (9)$$

onde:

e_{sa} : tensão de vapor de saturação em mb;

Q_{sa} : umidade específica de saturação em g/kg

O déficit de umidade específica D_0 correspondente a diferença entre Q_{sa} e Q :

$$D_0 = Q_{sa} - Q \quad (10)$$

Cálculo da condutância estomática

Jarvis (1976) propôs a modelagem analítica da condutância estomática, G_{sv} , para ser usada na equação de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração. Esse modelo foi adotado em vários sub-modelos de circulação global (MCG's) para vegetação e é baseado em funções semi-empíricas de controle dos estômatos. A máxima condutância estomática, a_1 , é proporcionalmente modificada pelo índice de área foliar, L^* , e pelas variáveis climáticas que influenciam a abertura dos estômatos. O modelo de Jarvis tem a forma:

$$G_{sv} = a_1 L^* f_1(PAR)f_2(T_f)f_3(D_c)f_4(\psi)f_5(C_c) \quad (11)$$

onde as variáveis independentes PAR, T_f , D_c , ψ e C_c são respectivamente, radiação fotos- sinteticamente ativa, temperatura da folha, déficit de umidade do topo da folhagem, potencial de evaporação da água na folha e concentração de dióxido de carbono no topo da folhagem. Stewart(1988), produziu uma versão operacional desse modelo para florestas, que foi subsequentemente usada por Gash et al.(1989) e Dolman et al.(1991). Stewart simplificou a parametrização substituindo PAR por radiação solar, S e potencial de evaporação, ψ , por umidade no solo, θ . A concentração de dióxido de carbono, apesar de ter uma conhecida influência na abertura dos estômatos das plantas (Morison and Gifford, 1983), é excluída desse trabalho e de outros estudos similares (e.g. Stewart,1988; Kim and Verna, 1991) devido à dificuldade de medição em campo e à falta de confiabilidade dos dados coletados. Porém, os modelos atuais de controle estomatal para estimativa de transpiração funcionam relativamente bem para justificar seu uso em GCMs até a próxima geração de modelos que devem incluir o fluxo de gás carbônico como parâmetro.

Segundo Stewart (1988) e Dolman et al. (1991) a equação inicialmente proposta para a condutância estomática em pastagens recebe então a forma final:

$$G_{sv} = a_1 L^* f_1(D_0)f_2(T_o)f_3(S)f_4(\theta) \quad (12)$$

onde a_1 é a máxima condutância estomática por unidade de área foliar; L^* é o índice de área foliar; θ é a umidade contida no solo e D_0 é o déficit de umidade específica, dado pela equação:

$$D_o = q_{sat}(T_o) - q_o \quad (10)$$

A equação 10 possui a metodologia de cálculo demonstrada no item “Cálculo de déficit de umidade específica(VPD)” e nela as funções de controle são:

$$f_1(D_o) = \exp(-a_2 D_o) \quad (13)$$

$$f_2(T_o) = [(T_o - T_i)(T_h - T_o)^t] / [(a_3 - T_i)(T_h - a_3)^t] \quad (14)$$

$$\text{onde: } t = (T_h - a_3) / (a_3 - T_i)$$

$$f_3(S) = (S/1000)[(1000+a_4) / (S+a_4)] \quad (15)$$

$$f_4(\theta) = 0 \text{ para } \theta \leq \theta_w$$

$$f_4(\theta) = (\theta - \theta_w) / (a_5 - \theta_w) \text{ para } \theta_w < \theta < a_5 \quad (16)$$

$$f_4(\theta) = 1 \text{ para } \theta \geq a_5$$

Onde T_o , T_l e T_h são dados em °C, S é dado em W/m^2 e θ é a umidade relativa do solo, adimensional. T_l é o limite mínimo de temperatura para ocorrer transpiração, T_h é o limite máximo de temperatura para ocorrer transpiração, θ_w é a umidade do solo no ponto de murchamento da planta, ou seja, a umidade abaixo da qual a planta não consegue mais captar água do solo. ; a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 são parâmetros empíricos encontrados por otimização não linear. Para cada sítio é calculado um conjunto de parâmetros empíricos a_1 - a_5 , além de θ_w para sítio de pastagem.

Esse cálculo de condutância estomática pode ser estendido para sítios de floresta apenas suprimindo a função dependente da umidade no solo visto que em florestas, mesmo em períodos de seca, a umidade do solo tem valor suficiente para não ter efeito sobre o controle estomatal da planta. Outro fator que contribui nesse sentido é a capacidade das raízes retirarem água de grandes profundidades em florestas. A metodologia aplicada no cálculo da umidade do solo é apresentada no final desse item. Na tabela 1 tem-se uma comparação entre os parâmetros de otimização para cada sítio e entre as funções parametrizadas para floresta e pastagem, como mostrado em Wright et al. (92). Devido à parametrização, as funções, que têm como mínimo o valor 0 e máximo o valor 1, podem ser vistas como pesos na ponderação do valor máximo que a condutância estomática pode assumir para cada sítio, representado por $a_1 L^*$. Foi adotado $T_l = 0^\circ C$ e $T_h = 45^\circ C$ para todos os sítios.

Tabela 1 Parâmetros de otimização para cada sítio. Wright et al. (92)

	R. Jaru	F. N. Senhora	F. Dimona	R. Ducke
A_1	80,1	43,2	27,1	20,8
A_2	0,1248	0,0592	0,0670	0,064
A_3	43,1	23,5	28,5	30,2
A_4	3916	108934	2922	250
A_5		0,272	0,387	
θ_w		0,15	0,33	

Wright et al(92) constataram que, para os valores usuais de temperaturas que ocorrem nos dois sítios (entre $15^\circ C$ e $33^\circ C$), a função $f(T)$ tem um maior valor médio para o sítio Nossa Senhora (pastagem), além de uma menor variância. Essa maior variância para sítios de floresta faz com que essa função exerça grande influência nesses sítios. Por outro lado, em sítios de pastagens, $f(T)$ tem uma fraca e incerta influência na resposta estomatal. Consequentemente, alguns modelos não utilizam a função dependente da temperatura para cálculo da transpiração em sítios de pastagem. Nesse estudo, porém, a função $f(T)$ é sempre considerada no cálculo da condutância estomática.

Wright et al (92) verificaram que a função $f(S)$ é sempre ligeiramente maior para a Reserva Jaru em relação a Nossa Senhora. A variância de $f(S)$ dentro do intervalo é grande para ambos os sítios, o que mostra a forte influência da função da radiação incidente na resposta estomatal, tanto em floresta quanto em pastagem. Durante o

decorrer do dia a radiação incidente pode variar do valor 0, nas primeiras horas do dia, a valores próximos de 1000, logo após o meio-dia, percorrendo quase todo o domínio da função $f(S)$. Isso faz com que $f(S)$ varie do valor mínimo 0 até quase o valor máximo 1, fazendo com que a condutância estomatal varie de 0 a valores máximos durante o decorrer do dia, provando novamente a grande influência da radiação solar incidente na abertura e fechamento dos estômatos.

Contataram também que para o cálculo da condutância estomatal em sítio de floresta (Reserva Jaru) a função $f(\theta)$ não tem influência. Isso se deve ao fato da umidade do solo em floresta, mesmo em períodos de seca, ser grande o bastante para não requerer um fechamento dos estômatos. Além disso, as raízes de árvores em floresta obtêm água a maiores profundidades que as plantas em sítios de pastagem, podendo conseguir água mesmo com valores menores de umidade próximo da superfície do solo. A função $f(\theta)$ varia linearmente com θ . Os valores extremos de θ , são $\theta_w=0,15$ e $a_5=0,272$. Abaixo de θ_w , a planta já não tem capacidade de tirar a água residual do solo, portanto $f(\theta)=0$ e os estômatos se fecham. Acima de a_5 , a umidade no solo é suficiente para a planta obter água sem necessitar de uma resposta estomatal a fim de reter a evaporação.

Estimativa da umidade do solo

Para o cálculo da umidade do solo foi desenvolvido um outro programa computacional em linguagem Pascal. Este programa recebe como dado de entrada os valores médios da umidade volumétrica do solo dispostos em um arquivo de dados. Estes valores foram medidos próximos às estações automáticas através de sondas de nêutrons. Para o sítio experimental localizado na reserva Jaru, havia oito tubos de medição de umidade, sendo que as medições se iniciaram em outubro de 1991 na reserva Jaru. Os dados disponíveis são de outubro de 91 até dezembro de 1993.

Os tubos de medição foram instalados em um relevo de planalto. A profundidade de seis dos oito tubos de acesso foram limitadas pela presença de formações rochosas. Nesses tubos, as leituras máximas foram efetuadas entre 2 e 3,6m. Os valores de umidade foram medidos na profundidade 0,1 e 0,2m, e a partir de então, em intervalos de 0,2m até a profundidade máxima. O arquivo de entrada do programa contém a média algébrica dos valores obtidos de umidade em cada um dos tubos de acesso, para cada profundidade. A umidade volumétrica foi medida aproximadamente a cada sete dias.

Os valores medidos pela sonda de nêutrons foram convertidos em umidade volumétrica através da calibração indicada na expressão:

$$\theta = m (R/R_w) + n \quad (17)$$

onde:

θ = umidade volumétrica;

R: contagem no solo, a uma dada profundidade, fornecida pela sonda de nêutrons;

R_w : contagem em um sistema padrão fornecida pela sonda de nêutrons;

m,n: parâmetros determinados pelo método de Couchat *et al* (1975).
A umidade média do solo foi determinada pela expressão (18).

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^D \theta_i \Delta Z_i}{\sum_{i=1}^D Z_i} \quad (18)$$

Onde:

θ_i : umidade específica;

Z_i : espessura da camada i ;

D: número de camadas de solo analisadas.

O programa tem como saída um arquivo que contém a umidade média do solo para cada dia de medição. O arquivo traz uma tabela tendo na primeira coluna o dia juliano da medição e, na segunda coluna, a umidade média do solo nesse dia.

RESULTADOS

Após o cálculo da condutância estomática obtida através do modelo de Stewart, descrito anteriormente, foi calculada a evapotranspiração diária através da equação de Penman-Monteith, para um conjunto específico de dias. Esses resultados são comparados com os dados de fluxo de calor latente, obtidos do aparelho de medição Hydra em campanhas durante os anos de 1992 e 1993 na Reserva Jaru na região de Ji - Paraná. No aparelho Hydra a evapotranspiração é medida através da técnica de correlação de vórtices (eddy correlation). Também é feita a comparação com os valores de evapotranspiração calculados no trabalho de Maia Alves (97), com o intuito de verificar a melhora nos resultados obtida pela adoção do modelo de cálculo da condutância estomática. Os resultados dessas comparações podem ser vistos nos gráficos a seguir.

Reserva Jaru – ano de 1992

O gráfico 1 apresenta a comparação dos resultados obtidos durante o período de 09/08 a 03/11 de 1992. Assumindo que os valores medidos pelo aparelho Hydra sejam valores reais, foi efetuada a comparação entre os valores calculados por Maia Alves (1997) e os calculados nesse trabalho, tendo como base os valores medidos.

Na tabela 2 são mostrados os parâmetros estatísticos para cada conjunto de valores, calculados e medidos.

Tabela 2 Parâmetros estatísticos dos valores estimados e medidos-Reserva Jaru

.	Modelo	M.Alves	Hydra
Coef. Correl.	0,927	0,885	
RMSD	0,11	1,38	

BIAS	0,13	1,2	
Evap. Média	3,60	4,56	3,50
D. Padrão	0,90	1,16	0,83

A evapotranspiração calculada, levando-se em conta o modelo de Stewart, foi, em média, 0,13 mm/dia menor que a evapotranspiração medida . Ocorreu uma sensível melhora em relação ao trabalho de Maia Alves(97), que calculou uma evapotranspiração média de 1,2 mm/dia maior. O desvio quadrático médio em relação aos valores medidos foi 0,11, mostrando uma melhora em

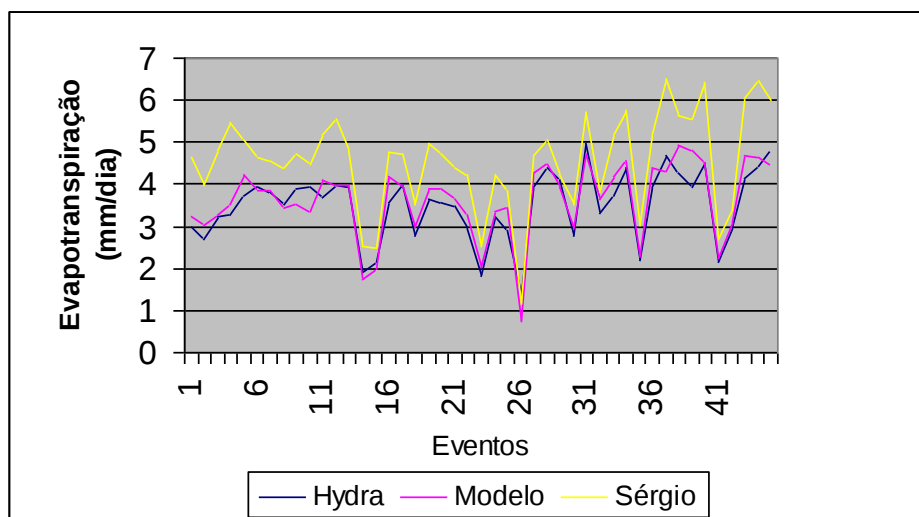


Gráfico 1 Evapotranspiração medida no Hydra, calculada pela Equação de Penman Monteith (considerando-se o modelo de Stewart) e calculada por Penman Monteith (Maia Alves, 97) .R. Jaru (09/08 a 03/11 de 1992).

relação ao trabalho anterior, que foi 1,38, em média.

A equação da reta de regressão obtida da correlação entre os valores estimados neste trabalho e os medidos no HYDRA foi:

$$Y = 0,057 + 1,021X \quad (19)$$

Sendo:

X : valor de evapotranspiração medido pelo aparelho Hydra

Y : valor de evapotranspiração calculado pelo modelo .

Reserva Jaru – ano de 1993

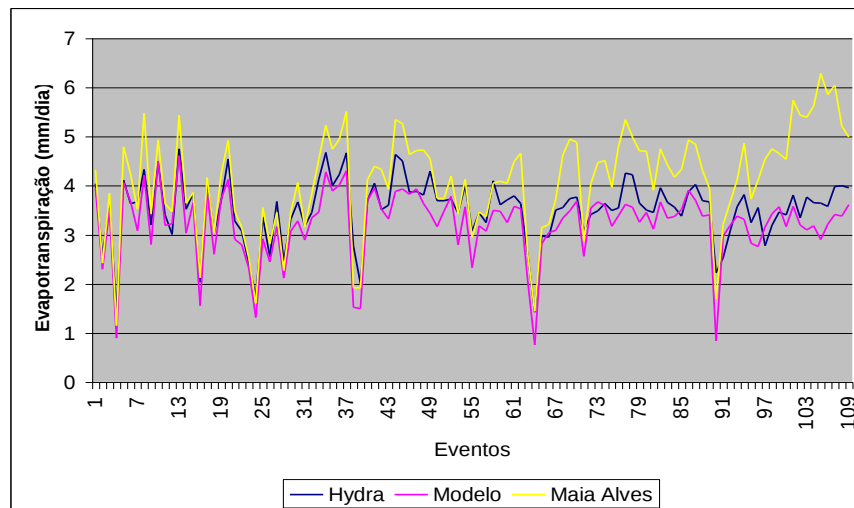
O gráfico 2 apresenta a comparação dos resultados obtidos durante o período de 08/04 a 26/07 de 1993. Nele são comparados os valores estimados através da equação de Penman-Monteith, considerando-se o modelo de Stewart, os valores estimados por Maia Alves e os valores medidos pelo Hydra.

A evapotranspiração estimada foi, em média, 0,29 mm/dia menor que a medida. Isso mostra uma sensível melhora em relação ao trabalho de Maia Alves(97), que calculou uma evapotranspiração média de 1,1mm/dia maior. A tabela 3 mostra os parâmetros estatísticos para cada conjunto de valores, calculados e medidos.

Tabela 3 Parâmetros estatísticos dos valores calculados e medidos – Reserva Jaru 1993

	Modelo	M. Alves	Hydra
Coef. Correl.	0,91	0,726	
RMSD	0,17	0,696	
BIAS	-0,29	1,1	
D. Padrão	0,71	1,02	0,636
Evap. Média.	3,22	4,09	3,51

Gráfico 2 Gráfico da evapotranspiração medida pelo Hydra, da evapotranspiração



calculadas pela equação de Penman-Monteith (considerando o modelo de Stewart) e da evapotranspiração calculada pela Equação de Penman Monteith (Maia Alves, 97). Reserva Jaru(08/04 a 26/07 de 1993).

O desvio médio quadrático em relação aos valores medidos foi 0,17, mostrando

uma melhora em relação ao trabalho anterior, que obteve 0,7.

A equação da reta de regressão obtida da correlação entre os valores estimados neste trabalho e os medidos no HYDRA foi :

$$Y = - 0,375 + 1,024X \quad (20)$$

Ocorreu uma melhora na correlação linear entre os dados, comparando-se com o trabalho de Maia Alves(97), no qual foi obtido um coeficiente de correlação linear $\rho=0,726$, enquanto neste estudo o coeficiente de correlação linear obtido foi de $\rho=0,91$.

ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÉDIA MENSAL

A seguir, são apresentados os valores médios da evapotranspiração diária para os meses de Jan/92 a Out/93 na reserva Jarú e sua comparação com os valores encontrados por Maia Alves.

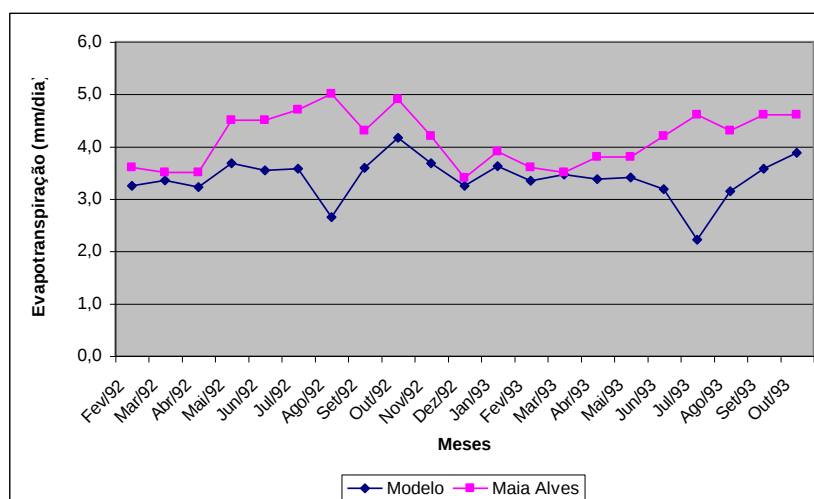


Gráfico 3 Comparação entre os valores médios diários de evapotranspiração encontrados pelo modelo e os encontrados por Maia Alves(1997).

O gráfico 3 descreve o comportamento médio diário da evapotranspiração durante o período de estudo, conforme o modelo adotado e segundo Maia Alves (1997). A evapotranspiração calculada pelo modelo foi, em média, 0,73 mm/dia menor que a calculada por Maia Alves (1997). Em 1992 essa diferença média foi de 0,69 mm/dia e, em 1993, ela aumentou para 0,77mm/dia.

Durante o período seco, a evapotranspiração média calculada pelo modelo foi 3,4 mm/dia,

enquanto a calculada por Maia Alves (1997) foi 4,6 mm/dia. Durante o período chuvoso a evapotranspiração média calculada pelo modelo foi 3,3 mm/dia, enquanto a calculada por Maia Alves (1997) foi 3,6 mm/dia. Essa diminuição da diferença entre as médias calculadas pelos dois estudos durante o período chuvoso se deve ao fato do cálculo de Maia Alves (1997) se aproximar do valor real durante esse período.

CONCLUSÕES

A evapotranspiração calculada por Maia Alves para a floresta (Reserva Jaru) foi, em média, 1,2 mm/dia maior que o valor considerado real (Hydra) no ano de 1992. Durante o mesmo período, a evapotranspiração calculada neste trabalho foi 0,1 mm/dia menor que a real (um erro 91% menor). O desvio médio quadrático no cálculo de Maia Alves (1997) foi 1,4 enquanto para o modelo foi 0,1 (92% menor).

Para o ano de 1993 o erro cometido por Maia Alves (1997) no cálculo da evapotranspiração para a floresta (Reserva Jaru) foi 1,1 mm/dia (maior que o real). O cálculo que considera o modelo de Stewart teve um erro de -0,3 mm/dia (72% menor). O desvio médio quadrático do cálculo de Maia Alves (1997) foi 0,7 enquanto para o presente trabalho foi 0,2 (71% menor).

Esses resultados mostram que a inclusão da estimativa da condutância estomática, utilizando o modelo proposto, no cálculo da evapotranspiração melhorou sensivelmente os resultados, em comparação ao cálculo utilizando dados de resistência estomática para dias típicos, como utilizado por Maia Alves (1997).

O desvio médio quadrático para a floresta foi 0,11 (3% da média) em 1992 e 0,17 (5% da média) em 1993. Na verdade, o HYDRA apresenta um erro de 20%, dado ao fator físico, por exemplo, em dias de chuva são medidas maiores evapotranspiração dada a interceptação da precipitação.

REFERÊNCIAS

- COUCHAT, P.; Carré, C.; Marcesse, J. e Le Ho, J., 1975. *The measurement of thermal neutron constants of the soil: Application to the calibration of neutron moisture gauges and to the pedological study of the soil*. Proc. Conf. Nuclear Data Cross Section on Technology, Washington D.C.,
- DOLMAN A. J.; Gash J. H. C.; Roberts J. and Shuttleworth W. J., 1991. *Stomatal and surface conductance tropical rainforest*. In Agric. For. Meteorol., 54 : 303 – 318.
- GASH, J. H. C.; Shuttleworth, W. J.; Lloyd, C. R.; André, J. C.; Goutorbe, J. P. and Gelpe, J. 1989. *Micrometeorological measurements in Les Landes Forest during HAPEX-MOBILHY*. Agric. For. Meteorol., 46: 131 – 147.
- ROCHA, H. R.; Sellers, P. J; Collatz, G. J.; Wright, I. R. and Grace J. 1996. *Calibration and use of the SiB2 model to estimate water vapour and carbon exchange at the ABRACOS forest sites*. In J. H. C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts and R. L. Victoria , *Amazonian Deforestation and Climate*. Chicester, New York, John Wiley & Sons.
- JARVIS, P. G. 1976. *The interpretation of the variations in leafwater potential and stomatal conductances found in canopies in the field*. Philos. Trans. R. Soc., London, Ser. B, 273: 593 – 610.
- KIM, J. and Verma, S. B. 1991. *Modelling canopy stomatal conductance in a temperate grassland ecosystem*. Agric. For. Meteorol., 55: 149 – 166.
- MAIA ALVES, 1997. *Análise comparativa do regime hidrológico em áreas de floresta tropical e de pastagem da Amazônia*. Trabalho de Graduação, ITA. 1 – 78.
- MONTEITH, J.L. 1965. *Evaporation and environment. The State and Movement of Water in Living Organisms*. Symp. Soc. Exp. Biol., 19th, p. 205-234.
- MOORE, C.J. e Fisch, G.1991. *Estimating heat storage in Amazonian tropical forest*. Agricultural and Forest Meteorology, 38 (1-3):147-169, Oct.
- MORISON, J. I. L. e Gifford, R. M. 1983. *Stomatal sensivity to carbon dioxide and humidity*. Plant physiol., 71: 789 – 796.
- STEWART, J. B., 1988. *Modelling surface conductance of pine forest*. Agric. For. Meteorol., 43: 19 – 35.
- WRIGHT, I.R.; Gash, J. H. C; Rocha, H. R.; Shuttleworth, W. J.; Nobre, C. A; Maitelli, G. T.; Zamparoni, C. A G. P.; Carvalho, P. R. A. A. 1992. *Dry season micrometeorology of Central Amazonian ranchland*. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 118(508): 1083-1100, Oct.
- WRIGHT, I. R.; Manzi, A. O; Rocha, H.R. 1994. *Surface condutance of Amazonian pasture: model application and calibration for canopy climate*. In Agric. For. Meteorol. , 75 : 51 –70.
- WRIGHT, I.R.; Gash, J.H.C.; Rocha, H.R. e Roberts, J.M.1996. *Modelling surface conductance for Amazonian pasture and forest*. In J. H. C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts and R. L. Victoria, *Amazonian Deforestation and Climate*. Chicester, New York, John Wiley & Sons.

