

Ari de Oliveira Marques Filho (1)  
 Maria de Nazaré Góes Ribeiro (1)  
 Eneas Salati (2)

**Resumo**

Neste trabalho foi estimada a evapotranspiração de florestas da Amazônia, através da equação proposta por Thom & Olivier (1977). Os dados utilizados correspondem a dezenove estações climatológicas distribuídas na região. Ficou comprovado que a contribuição do termo aerodinâmico na composição da evapotranspiração é semelhante àquela do termo correspondente ao balanço de energia. O valor médio da evapotranspiração potencial encontrado foi de 7 mm/dia.

**INTRODUÇÃO**

A evolução de métodos que buscam conhecer e quantificar os componentes do ciclo hidrológico, deve ser acompanhada pela compreensão e inclusão de fatores que refletem a natureza física do processo, originando dessa forma, expressões realísticas e abrangentes.

A equação de Penman reuniu os principais parâmetros que regulam o processo de evapotranspiração, revelando limitações apenas com relação ao seu termo aerodinâmico. Thom & Olivier (1977) seguindo o modelo de Monteith, procuraram generalizar esse termo, apresentando uma expressão aplicável para qualquer superfície, inclusive coberturas vegetais de grande porte.

Utilizando essa expressão, procurou-se estimar a evapotranspiração potencial da floresta amazônica, compreendida

aqui como o fluxo de vapor d'água que ocorre quando a cobertura vegetal está completamente saturada.

Estudos dessa natureza na Amazônia foram realizados por Villa Nova et al (1976), que utilizaram o método de Penman, e por Marques et al (1980), que utilizaram o método aerológico.

**MATERIAL E MÉTODOS**

As informações meteorológicas utilizadas neste trabalho são originárias de dezenove Estações Climatológicas localizadas na região Amazônica, que foram apresentadas no estudo de Villa Nova et al (1976).

Penman estabeleceu uma equação para o cálculo da evaporação de uma superfície d'água e de uma superfície com vegetação verde de pequeno porte bem suprida por água, cuja forma original é

$$E = \frac{\Delta H + \gamma E_{ao}}{\Delta + \gamma} \quad (1)$$

Os termos correspondentes ao balanço de energia e ao poder evaporante do ar são determinados pelas expressões,

$$H = R_a (a + b \cdot n/N) (1 - R) - \sigma T^4 (0,56 - 0,08 \sqrt{e}) (0,1 + 0,9 n/N) \quad (2)$$

e,

$$E_{ao} = 0,26 (e_s - e) (1 + 0,54 u) \quad (3)$$

Nessas três equações os símbolos têm os seguintes significados:

(\*) Trabalho inteiramente subvencionado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

(1) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA -

(2) Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA -

- $E$  → evapotranspiração potencial (mm dia<sup>-1</sup>)  
 $H$  → balanço de energia (mm dia<sup>-1</sup>)  
 $E_{ao}$  → poder evaporante do ar (mm dia<sup>-1</sup>)  
 $R_a$  → radiação solar teórica que alcança o topo da atmosfera (mm dia<sup>-1</sup>)  
 $\Delta$  →  $de_s/dT$  (mb<sup>o</sup>K<sup>-1</sup>)  
 $\gamma$  → constante psicrométrica (0,66 mb<sup>o</sup>K<sup>-1</sup>)  
 $R$  → poder refletor da superfície evaporante  
 $a, b$  → constantes características de cada região  
 $n/N$  → razão de insolação  
 $\sigma$  → constante de Stefan-Boltzman (2,01x10<sup>-9</sup> mm dia<sup>-1</sup>oK<sup>-4</sup>)  
 $T$  → temperatura do ar (°K)  
 $e$  → tensão parcial de vapor (mb)  
 $e_s$  → tensão de saturação de vapor (mb)  
 $u$  → velocidade do vento medida a 2,0 m acima da superfície evaporante (ms<sup>-1</sup>).

Monteith mostrou que a evaporação de uma superfície não saturada — uma generalização da equação 1 — pode ser estimada pela equação

$$LE_o = \frac{\Delta H_o + \rho c_p (e_s - e) / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)} \quad (4)$$

onde,

- $E_o$  → evaporação (Kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)  
 $L$  → calor latente de vaporização (Joule Kg<sup>-1</sup>)  
 $H_o$  → termo relativo ao balanço de energia (Watt m<sup>-2</sup>)  
 $\sigma$  → densidade relativa do ar (Kg m<sup>-3</sup>)  
 $c_p$  → calor específico do ar (Joule Kg<sup>-1</sup>oK<sup>-1</sup>)

- $r_a$  → resistência aerodinâmica à difusão de vapor d'água (sm<sup>-1</sup>)  
 $r_c$  → resistência a difusão de vapor d'água relativa a cobertura vegetal (sm<sup>-1</sup>)

Thom & Olivier (1977), comparando as equações 1 e 4, estabeleceram a resistência aerodinâmica,  $r$  (s/m), implícita na fórmula de Penman, como sendo

$$r = \frac{\rho c_p}{\gamma L} \cdot \frac{(e_s - e)}{(E_{ao} / 8,64 \times 10^4)} \quad (5)$$

Em condições de neutralidade na atmosfera, a resistência à transferência do momento numa cobertura vegetal — que é similar a resistência à difusão de vapor d'água — pode ser apresentada na forma

$$r_{an} = \frac{1}{K^2 u} \left[ \ln \left\{ \frac{z-d}{z_o} \right\} \right]^2 \quad (6)$$

onde,

- $r_{an}$  → resistência aerodinâmica em condições de neutralidade na atmosfera (sm<sup>-1</sup>)  
 $d$  → altura de deslocamento do plano zero (m)  
 $z_o$  → parâmetro relativo à rugosidade da vegetação (m)  
 $K$  → constante de von Kármán  
 $Z$  → altura de referência

Estudando as variações nas resistências aerodinâmicas teóricas  $r_a$ , com relação àquelas correspondentes a neutralidade na atmosfera, calculadas pela razão  $r_a/r_{an}$  para diferentes velocidades do vento e graus de rugosidade, Thom & Olivier (1977) encontraram uma família de curvas compactas, entre as quais situou-se a curva  $r/r_n$  correspondente ao caso particular do experimento da Penman. Acentuaram, então, que a evolução da razão  $r_a/r_{an}$  não é dependente da rugosidade da superfície envolvida, e reuniram justifica-



tivas para propor uma equação para  $r_a$  — assumindo que o comportamento de  $r_a/r$  fosse semelhante ao de  $r_{an}/r_n$  — na forma

$$r_a = \frac{\{1n(z-d)/z_0\}^2}{\{1n(z-d)/z_0P\}^2} \cdot r \quad (7)$$

onde,  $z_0P$  é a rugosidade da superfície no experimento de Penman. Entretanto, a análise teórica bem fundamentada, da qual resultou a equação 7, estava apoiada, experimentalmente, apenas nas observações de Penman. Stigter (1979), fazendo comparações entre esses resultados e aqueles trabalhos, nos quais foram utilizadas calibrações experimentais de lisímetros, concluiu que as diferenças entre os dois tipos de estudos, teóricos e experimentais, podiam ser eliminadas apenas pela consideração de um menor valor para a constante de von Kármán.

Com essa última proposição na qual o valor de  $K$  é 0,37 em contraposição ao valor clássico de 0,41, pode ser determinada uma equação final para a resistência aerodinâmica, que tem o seguinte aspecto

$$r_a = \frac{5,8 \{1n(z-d)/z_0\}^2}{(1 + 0,54u)} \quad (8)$$

A resistência aerodinâmica assim definida, introduzida na expressão generalizada de Monteith e ajustada as unidades, produz a seguinte equação, que é similar no formato à equação 1,

$$E_t = \frac{\Delta H + \gamma E_a}{\Delta + \gamma (1 + r_c/r_a)} \quad (9)$$

na qual,  $E_t$  é a evapotranspiração em mm/dia, e  $E_a$  é o termo aerodinâmico em mm/dia, agora definido pela equação

$$E_a = \frac{11,2 (e_s - e) (1 + 0,54u)}{\{1n(z-d)/z_0\}^2} \quad (10)$$

A equação 9 pode fornecer estimativas de evapotranspiração de florestas, dependen-

do do conhecimento dos termos do balanço de energia do poder evaporante do ar, além de  $r_a$  e  $r_c$ . Quando se procura estabelecer um limite superior para o valor de  $E_t$ , que é referenciado usualmente como o conceito de Evapotranspiração Potencial,  $E_p$ , a resistência vinculada às características da cobertura vegetal,  $r_c$ , pode ser considerada nula (Thom, 1975; Jarvis et al., 1975).

No termo do balanço de energia, consideraram-se os valores 0,26, 0,49 e 0,15 para parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $R$ , respectivamente. Os valores assumidos para os parâmetros  $a$  e  $b$  são estimativas para a cidade de Manaus, apresentadas no trabalho de Ribeiro et al (1982). A radiação solar teórica que alcança o topo da atmosfera foi calculada para cada localidade através da equação referida por Sellers (1965).

No termo aerodinâmico, fez-se necessária uma estimativa da razão  $(z-d/z_0)$  adequada para cobertura vegetal de grande porte, pois os demais elementos que compõem a equação 10, foram determinados a partir das observações de velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, efetuados nas Estações Climatológicas. Jarvis et al (1975) apresentam alguns resultados de estudos em florestas que evidenciam as relações existentes entre os parâmetros  $d$  e  $z_0$ , e a altura da vegetação,  $h$ . Esses estudos mostram  $z_0$ , variando de 0,02 a 0,14h, e o parâmetro  $d$  variando de 0,61 a 0,92h. Olivier (1971), considerando  $d = 0,75h$ , encontrou para condições de neutralidade na atmosfera um valor de 0,91 para o parâmetro  $z_0$ .

Na falta de estudos dessa natureza na região e diante desses valores estabelecidos para florestas, adotaram-se as relações  $z = h + 2$ ,  $d = 0,70h$  e  $z_0 = 0,03h$ , que representam possivelmente uma situação moderada para o porte médio da floresta Amazônica, cuja altura se situa na faixa de 25 a 30 m. Esse procedimento deu origem a um valor de 12,5 para a razão  $(z-d)/z_0$ .

TABELA 1 - Valores médios mensais de Evapotranspiração Potencial, Ep (mm/dia)

CIDADE	Meses		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	ANO
	Lat.														
Macapã	0910' N		8.7	7.3	6.5	6.1	6.0	7.1	8.2	9.6	12.4	14.4	12.3	10.5	9.1
Uaupés	0908' S		5.6	6.2	6.1	5.4	5.0	4.7	4.9	5.7	6.5	6.6	6.3	5.8	5.7
Pari Cachoeira	0910' N		5.7	6.2	6.0	5.8	5.3	5.2	5.2	5.7	6.1	6.9	5.9	5.9	5.8
Yauareté	0918' S		6.1	6.3	6.3	4.6	5.2	5.1	5.0	5.9	6.6	6.3	6.4	6.1	5.8
Santa Isabel	0920' S		6.4	6.6	6.2	5.9	5.3	5.3	5.8	6.1	6.9	7.3	7.0	6.6	6.3
Barcelos	0959' S		7.3	7.8	7.9	6.4	6.3	6.4	6.7	7.3	8.1	8.0	8.1	7.7	7.3
Santarém	2925' S		7.6	6.7	6.4	6.3	5.9	6.3	7.1	8.9	10.9	12.0	10.9	9.9	8.2
Fonte Boa	2932' S		6.4	6.4	6.4	6.1	5.5	5.5	5.5	6.1	6.9	6.8	6.7	6.8	6.3
Parintins	2938' S		7.5	7.3	6.7	6.4	6.2	6.9	8.1	9.4	11.1	11.8	10.4	8.9	8.4
Manaus	3908' S		7.3	7.3	7.2	6.8	8.1	8.8	10.6	11.8	12.5	11.3	9.9	8.5	9.2
Altamira	3912' S		7.2	6.5	6.1	5.6	5.7	5.3	6.5	8.2	8.5	9.1	8.6	8.4	7.1
Tefé	3922' S		8.7	8.2	7.9	7.5	7.7	7.5	8.7	10.1	9.8	10.8	9.3	8.9	8.8
Coari	4905' S		5.6	5.7	5.3	5.1	5.3	5.6	6.2	7.0	7.1	6.6	6.4	5.9	6.0
B. Constante	4922' S		6.3	6.3	5.8	5.7	5.4	5.9	5.7	6.0	6.6	6.6	6.3	6.0	6.0
Carauari	4957' S		6.3	5.9	6.0	5.1	5.0	5.1	5.7	6.4	6.6	6.6	6.1	5.7	5.9
Alto Tapajós	7920' S		5.0	5.1	5.0	4.8	5.8	6.4	7.3	8.3	6.9	6.3	5.7	5.2	6.0
Humaitã	7931' S		7.0	6.7	6.3	6.4	6.4	7.4	8.4	9.3	9.3	9.0	8.4	7.8	7.7
Porto Velho	8946' S		6.1	6.0	6.2	6.2	6.6	7.5	9.1	10.0	9.3	8.1	7.1	6.4	7.4
Rio Branco	9958' S		5.9	5.5	5.6	5.5	5.4	5.5	6.3	7.6	8.8	7.2	6.2	6.4	6.4
Média															7.00

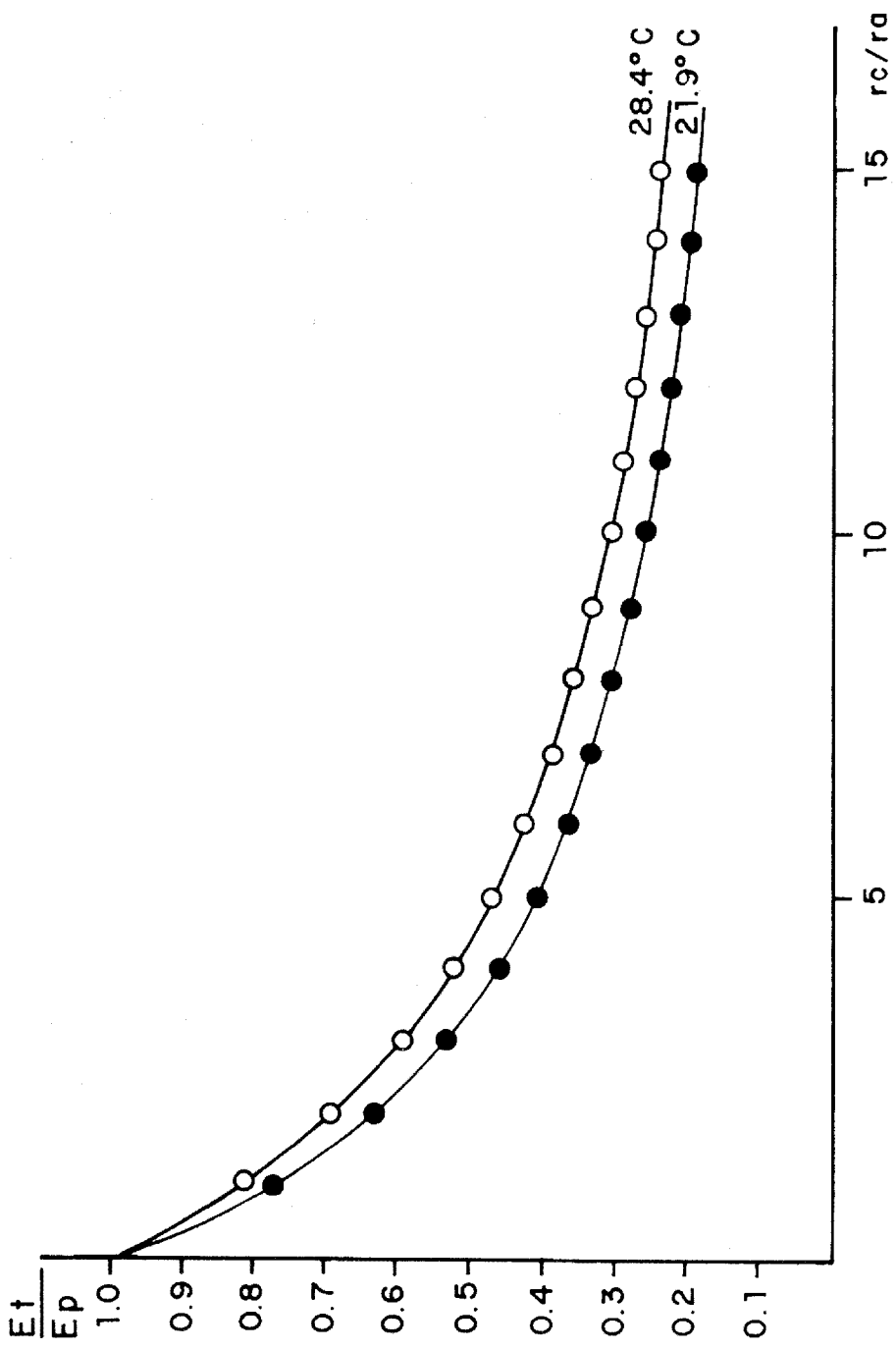


Fig. 1



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Determinou-se a evapotranspiração potencial característica de áreas florestadas para cada uma das dezenove Estações Climatológicas, nas quais existem valores médios mensais de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e razão de insolação. Esses valores médios correspondem a períodos de observações variáveis de 5 a 30 anos. Os valores de evapotranspiração potencial resultantes estão agrupados na tabela 1. O valor médio global encontrado para as florestas da região Amazônica foi 7 mm/dia.

Na figura 1 ilustram-se as possíveis reduções na Evapotranspiração Potencial em decorrência das variações de temperatura e de  $r_c/r_a$ . Com base nos valores extremos observados nas estações climatológicas, 21,9 e 28,9°C, delimitou-se a faixa na qual deve-se situar o fator de redução, calculado através da seguinte expressão (Monteith, 1975).

$$\frac{E_t}{E_p} = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)}$$

Uma rápida inspeção na figura 1 revela que, mesmo quando  $r_c \cong r_a$  — situação comum em vegetação de pequeno

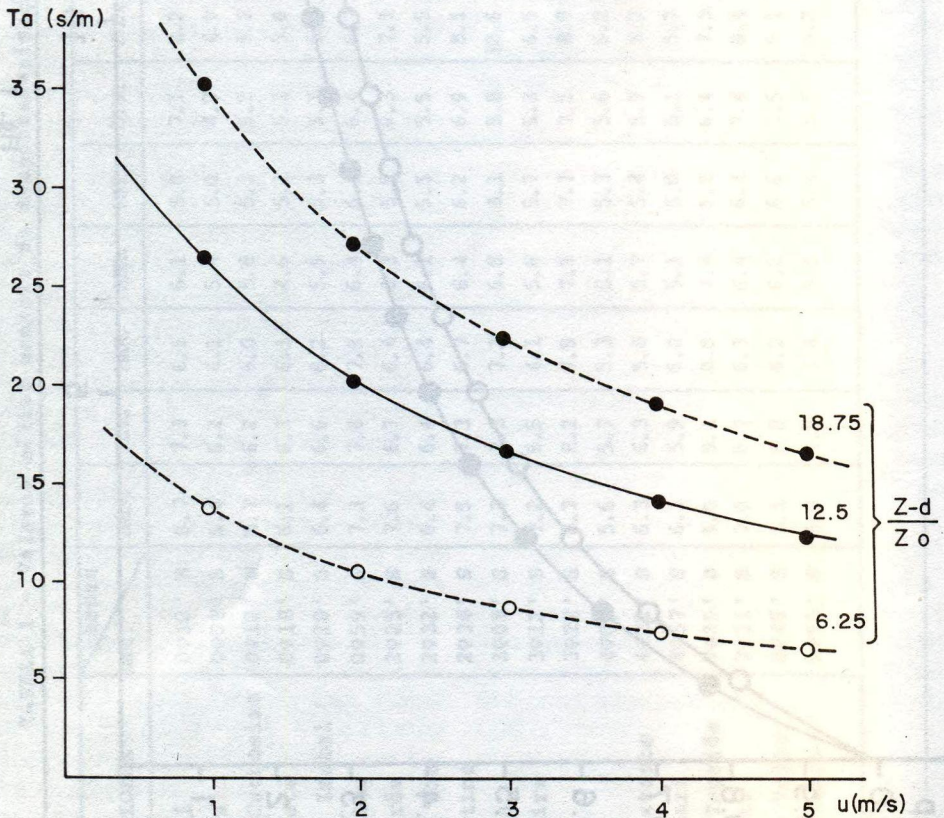


Fig. 2.



TABELA 2 - Valores médios mensais da parcela correspondente ao balanço de energia  $(\Delta/(\Delta+\gamma))H$  (mm/dia)

CIDADE	Meses		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	ANO
	Lat.														
Macapá	0910' N		3.7	3.7	3.3	3.3	3.4	3.7	4.3	4.5	4.8	4.9	4.6	4.0	4.0
Uaupés	0908' S		3.6	3.8	3.8	3.6	3.3	3.2	3.2	3.7	4.0	4.0	3.9	3.6	3.6
Pari Cachoeira	0910' S		3.3	3.4	3.5	3.3	3.1	3.0	3.0	3.2	3.2	3.8	3.5	3.5	3.3
Yauareté	0918' S		3.4	3.4	3.4	2.1	3.0	2.8	2.8	2.9	3.3	3.6	3.5	3.4	3.2
Santa Isabel	0920' S		3.7	3.7	3.6	3.4	3.1	3.1	3.3	3.6	3.9	4.0	3.7	3.6	3.6
Barcelos	0959' S		3.8	3.9	3.9	3.5	3.4	3.2	3.3	3.6	4.0	4.1	3.9	3.8	3.7
Santarém	2925' S		3.6	3.4	3.3	3.3	3.2	3.3	3.6	3.9	4.3	4.4	4.0	3.9	3.7
Fonte Boa	2932' S		3.7	3.8	3.8	3.6	3.2	3.1	3.2	3.5	3.9	4.0	3.9	3.8	3.6
Parintins	2938' S		3.7	3.7	3.6	3.6	3.4	3.7	3.9	4.5	4.8	4.3	4.3	4.1	4.0
Manaus	3908' S		3.6	3.5	3.4	3.3	3.5	3.5	3.8	4.3	4.3	4.3	4.0	3.7	3.8
Altamira	3912' S		3.1	3.1	3.0	2.9	3.2	2.5	3.1	3.8	3.9	3.5	3.0	3.0	3.2
Tefé	3922' S		3.7	3.7	3.7	3.5	3.3	3.2	3.3	3.9	4.0	4.2	3.8	3.9	3.7
Coari	4905' S		3.4	3.6	3.2	3.2	3.4	3.5	3.8	4.1	4.2	4.0	3.9	3.6	3.7
B. Constante	4922' S		3.8	3.9	3.7	3.5	3.1	2.8	2.9	3.3	3.9	4.0	3.9	3.8	3.6
Carauari	4957' S		4.0	3.6	3.5	3.1	3.0	3.1	3.2	3.5	3.9	3.9	3.4	3.3	3.5
Alto Tapajós	7920' S		3.3	3.4	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.9	3.8	4.1	3.6	3.4	3.5
Humaitá	7931' S		3.6	3.5	3.6	3.3	3.1	3.1	3.2	3.7	4.2	4.1	3.8	3.9	3.6
Porto Velho	8946' S		3.6	3.5	3.5	3.3	3.2	3.2	3.3	3.7	3.9	4.0	3.8	3.7	3.6
Rio Branco	9958' S		3.6	3.4	3.4	3.2	2.9	2.8	2.7	3.4	3.6	3.9	3.9	3.8	3.4
Média															3.6

TABELA 3 - Valores médios mensais da parcela correspondente ao termo aerodinâmico  $vE_a / (\Delta + \gamma)$  (mm/dia).

CIDADE	Meses		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	ANO
	Lat.														
Macapá	0910' N		5.0	3.6	3.2	2.8	2.7	3.5	3.9	5.1	7.5	9.5	7.6	6.4	5.1
Uaupés	0908' S		1.9	2.4	2.3	1.9	1.7	1.6	1.7	2.0	2.5	2.6	2.4	2.1	2.1
Pari Cachoeira	0910' S		2.5	2.8	2.5	2.5	2.2	2.2	2.2	2.5	2.9	3.2	2.5	2.5	2.5
Yauareté	0918' S		2.8	2.9	2.8	2.5	2.2	2.3	2.1	2.6	2.9	2.7	2.9	2.7	2.6
Santa Isabel	0920' S		2.7	2.8	2.6	2.5	2.2	2.2	2.5	2.5	3.0	3.3	3.3	3.0	2.7
Barcelos	0959' S		3.6	3.9	4.0	2.9	2.9	3.2	3.4	3.7	4.1	3.8	4.2	3.9	3.6
Santarém	2925' S		4.1	3.3	3.0	2.9	2.6	3.0	3.6	5.1	6.7	7.6	6.9	6.0	4.6
Fonte Boa	2932' S		2.7	2.5	2.6	2.6	2.2	2.4	2.4	2.6	3.0	2.9	2.8	3.0	2.6
Parintins	2938' S		3.8	3.6	3.1	2.8	2.7	3.3	4.1	5.0	6.7	7.0	6.1	4.8	4.4
Manaus	3908' S		3.7	3.8	3.8	3.5	4.6	5.3	6.8	7.5	8.1	7.0	5.8	4.8	5.4
Altamira	3912' S		4.1	3.3	3.1	2.7	2.5	2.9	3.9	4.4	4.5	5.6	5.6	5.4	4.0
Tefé	3922' S		5.0	4.6	4.2	4.0	4.4	4.3	5.4	6.2	5.8	6.6	5.5	5.0	5.1
Coari	4905' S		2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	2.1	2.5	2.9	2.9	2.6	2.6	2.4	2.3
B. Constante	4922' S		2.6	2.4	2.1	2.3	2.3	3.1	2.8	2.7	2.7	2.6	2.3	2.2	2.5
Carauari	4957' S		2.3	2.3	2.6	2.1	2.1	2.0	2.5	2.9	2.7	2.8	2.7	2.5	2.5
Alto Tapajós	7920' S		1.7	1.7	1.7	1.5	2.4	3.1	4.1	4.4	3.1	2.3	2.0	1.8	2.5
Humaitá	7931' S		3.4	3.2	2.7	3.1	3.4	4.4	5.2	5.6	5.1	4.9	4.6	3.9	4.1
Porto Velho	8946' S		2.6	2.5	2.7	3.0	3.4	4.3	5.7	6.3	5.4	4.1	3.3	2.7	3.8
Rio Branco	9958' S		2.3	2.1	2.1	2.3	2.6	2.7	3.5	4.3	5.2	3.3	2.4	2.6	3.0
Média															3.4



TABELA 4 - Valores mensais da razão  $\gamma E_a / \Delta H$ 

CIDADE	Meses		JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	ANO
	Lat.														
Macapá	0910' N		1.35	0.97	0.97	0.85	0.79	0.95	0.91	1.13	1.56	1.94	1.65	1.6	1.22
Uaupés	0908' S		0.53	0.63	0.61	0.53	0.52	0.50	0.53	0.54	0.63	0.65	0.62	0.58	0.62
Pari Cachoeira	0910' S		0.76	0.82	0.71	0.76	0.71	0.73	0.78	0.91	0.84	0.71	0.71	0.71	0.76
Yauareté	0918' S		0.82	0.85	0.82	1.19	0.73	0.82	0.72	0.79	0.81	0.75	0.83	0.79	0.83
Santa Isabel	0920' S		0.73	0.76	0.72	0.74	0.71	0.71	0.76	0.69	0.77	0.83	0.89	0.83	0.76
Barcelos	0959' S		0.95	1.00	1.03	0.83	0.85	1.00	1.03	1.03	1.03	0.93	1.08	1.03	0.98
Santarém	2925' S		1.14	0.97	0.91	0.88	0.81	0.91	1.00	1.31	1.56	1.73	1.73	1.54	1.21
Fonte Boa	2932' S		0.73	0.66	0.68	0.72	0.69	0.77	0.75	0.74	0.77	0.73	0.72	0.79	0.73
Parintins	2938' S		1.03	0.97	0.86	0.78	0.79	0.89	1.05	1.11	1.49	1.46	1.42	1.17	1.09
Manaus	3908' S		1.03	1.09	1.12	1.06	1.31	1.51	1.79	1.74	1.88	1.63	1.45	1.30	1.41
Altamira	3912' S		1.32	1.06	1.03	0.93	0.78	1.16	1.26	1.16	1.15	1.60	1.87	1.80	1.26
Tefé	3922' S		1.35	1.24	1.14	1.14	1.33	1.34	1.64	1.59	1.45	1.57	1.45	1.28	1.38
Coari	4905' S		0.62	0.58	0.63	0.59	0.56	0.60	0.66	0.71	0.69	0.65	0.67	0.67	0.64
B. Constante	4922' S		0.68	0.62	0.57	0.66	0.74	1.11	0.97	0.82	0.69	0.65	0.59	0.58	0.72
Carauari	4957' S		0.58	0.64	0.74	0.68	0.70	0.65	0.78	0.83	0.69	0.72	0.79	0.76	0.71
Alto Tapajós	7920' S		0.52	0.50	0.52	0.45	0.71	0.94	1.24	1.13	0.82	0.56	0.56	0.53	1.15
Humaitá	7931' S		0.94	0.91	0.75	0.94	1.10	1.42	1.63	1.51	1.21	1.20	1.21	1.00	1.15
Porto Velho	8946' S		0.74	0.71	0.77	0.91	1.06	1.34	1.73	1.70	1.38	1.03	0.87	0.73	1.08
Rio Branco	9958' S		0.64	0.62	0.62	0.72	0.90	0.96	1.30	1.26	1.44	0.85	0.62	0.68	0.88

Média

0.95



porte — a evapotranspiração real é 0,8 do seu valor potencial, reduzindo-se para 0,45 quando  $r_c/r_a \cong 5$  — já uma situação típica de vegetação de grande porte. Isto evidencia a estreita dependência entre a evapotranspiração real e as resistências à difusão de vapor d'água.

Na figura 2, mostra-se a variação da resistência aerodinâmica,  $r_a$ , em função da velocidade do vento e da relação  $(z - d) / z_0$ . O valor médio de  $r_a$  encontrado para a região foi de 23 s/m.

A evapotranspiração real anual da Região Amazônica, já foi estimada em inúmeros trabalhos com diferentes procedimentos, e o valor de 1200 mm que pode ser cogitado no presente estudo (supondo que a resistência  $r_c$  característica de florestas para períodos secos seja da ordem de 1 00 s/m (Stewart, 1977) situa-se numa posição intermediária dessas estimativas. Entretanto, é necessário enfatizar que a evolução da evapotranspiração de florestas no decorrer do ano não pode ser conhecida sem que sejam realizados estudos, que identifiquem claramente o papel da cobertura vegetal como um freio importante à evaporação, seja ele exercido pela estrutura da floresta ou pelas características fisiológicas das plantas.

As parcelas da evapotranspiração potencial correspondentes ao termo balanço de energia,  $[\Delta / (\Delta + \gamma)] H$ , e ao termo aerodinâmico  $[\gamma / (\Delta + \gamma)] E_a$ , foram calculadas para cada localidade, e são mostrados como valores médios mensais nas tabelas 2 e 3, respectivamente. O valor médio global da contribuição do termo de balanço de energia foi de 3,6 mm/dia, enquanto a contribuição do termo aerodinâmico alcançou 3,4 mm/dia. Foi calculada, ainda, a razão entre as duas contribuições  $\gamma E_a / \Delta H$ , e os valores médios mensais estão reunidos na tabela 4. Como resultado médio para a região encontrou-se que a contribuição associada ao termo aerodinâmico é aproximadamente 0,95 daquela do termo de balanço de energia.

## CONCLUSÕES

Foi determinado um limite superior para a evapotranspiração da região Amazônica, através de generalizações sucessivas da equação de Penman, propostas por Monteith, Thom & Olivier e Stigter, cujo valor médio alcançou 7 mm/dia.

Com a utilização dessa equação o termo aerodinâmico ficou bastante alterado, qualitativa e quantitativamente, em relação a equação original de Penman. A sua contribuição na composição final da evapotranspiração foi da mesma ordem de grandeza daquela correspondente ao termo de balanço de energia, em contraposição aos percentuais inferiores a 20% que a equação original de Penman pode produzir, quando aplicada aos mesmos dados da região.

As taxas de evapotranspiração aqui calculadas representam valores úteis na determinação das perdas da precipitação, que precisam ser consideradas em modelos de simulação hidrológica, quando aplicados em florestas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Auxiliares Técnicas Maria Solange da Graça Pinheiro e Valdelice Pereira da Silva pelo apoio prestado na preparação dos dados climatológicos.

## ABSTRACT

In the study, Amazonia's forest evapotranspiration was calculated through equation proposed by Thom & Olivier (1977). The data are coming from nineteen Weather Stations distributed in the region. It remained confirmed which the contribution of aerodynamic term in the composition of evapotranspiration is si-



milar to contribution of term associated to energy budget. It was found 7 mm/day for the average value of potential evapotranspiration.

#### Referências Bibliográficas

- Jarvis, P. J.; James, G. B.; Landsberg, J.J. — 1975. Coniferous Forest. In: Monteith, J. L. — **Vegetation and the Atmosphere**.
- Marques, J.; Salati, E.; Santos, J.M. — 1980. Cálculo da evapotranspiração real na Bacia Amazônica através do método aerológico. **Acta Amazônica**, 10(2): 375–381.
- Monteith, J. L. — 1975. **Vegetation and the Atmosphere**. London, Academic Press.
- Olivier, H. R. — 1971. Wind profiles in and above a forest canopy. **Quarterly J. R. Meteorological Society**, 97: 548–553.
- Ribeiro, M. N. G.; Salati, E.; Villa Nova, N. A.; Demétrio, C.G.B. — 1982. Radiação solar disponível em Manaus e

sua relação com a duração do brilho solar. **Acta Amazônica**, 12(2): 339–346.

- Sellers, W. D. — 1966. **Physical climatology**. Chicago, The University of Chicago
- Stewart, J. B. — 1977. Evaporation from the wet canopy of pine forest. **Water Resources Research**, 13(6): 915–921.
- Stigter, C.J. — 1979. Comparison and combination of two recent proposals for a generalized Penman equation. **Quarterly J. R. Meteorological Society**
- Thom, A. S. — 1975. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: Monteith, J. L. ed. — **Vegetation and Atmosphere**.
- Thom, A. S. & Olivier, H. R. — 1977. On Penman's equation for estimating regional evaporation. **Quarterly J. R. Meteorological Society**, 103: 345 – 357.
- Villa Nova, N. A.; Salati, E.; Matsui, E. — 1976. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. **Acta Amazonica**, 6(2): 215–228.
- (Aceito para publicação em 18/07/83).