

# Estudos climatológicos da Reserva Florestal Ducke, Manaus, AM. III. Evapotranspiração(\*)

Maria de Nazaré Góes Ribeiro(1)  
Nilson Augusto Villa Nova(2)

## Resumo

Neste trabalho, são utilizados os dados referentes ao período 1965 a 1973 da Estação Meteorológica da Reserva Florestal Ducke do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizada no Km 26 da Rodovia Torquato Tapajós. Para a estimativa da evapotranspiração potencial foram usados os métodos de Thornthwaite e Penman, E, para estimativa do balanço hídrico o método usado foi o de Thornthwaite e Mather.

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração real de um ecossistema é um parâmetro difícil de ser medido e muitas vezes é mesmo praticamente impossível a sua determinação direta. Assim, normalmente calcula-se a evapotranspiração potencial a partir de métodos empíricos em função de dados meteorológicos convencionais, e depois a partir de coeficientes apropriados estima-se a evapotranspiração real.

Pela importância que este parâmetro apresenta no estudo do balanço hídrico, diversas tentativas foram feitas para se conhecer a evapotranspiração na Bacia Amazônica; Villa Nova *et al.* (1976), utilizando dados do Ministério da Agricultura de 19 localidades da Região, calcularam o valor médio da evapotranspiração potencial para a Amazônia como sendo de 4 mm por dia. Para Manaus, os dados utilizados por Villa Nova foram os obtidos no Posto Meteorológico localizado dentro do perímetro urbano, os quais até certo ponto podem ficar descaracterizados pela influência microclimática da própria cidade devido à sua inércia térmica resultante do aquecimento dos prédios e ruas asfaltadas.

Neste trabalho, que é o terceiro de uma série (Ribeiro, 1976; Decico *et al.*, 1977) são utilizados os dados do período 1965 a 1973 da Estação Meteorológica da Reserva Florestal Ducke do INPA, localizada a 26 km da Cidade de Manaus, em região com cobertura natural pouco alterada. Em primeiro lugar estimou-se a evapotranspiração pelo método de Thornthwaite (1948) e em seguida foi utilizado o método de Penman (1956) e ainda apresentado o balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955).

## MATERIAL E MÉTODO

### CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE (1948)

Este método empírico baseia-se na relação de dependência entre a temperatura média do ar e a evapotranspiração potencial verificada naquele mês, relação esta dada por :

$$EP = 1,6 \left( \frac{10 T}{I} \right)^a$$

onde :

EP = a evapotranspiração potencial mensal em centímetros por mês.

T = a temperatura média mensal em graus centígrados.

I = índice de calor anual, somatório dos índices mensais *i*, dados por :

$$i = (T / 5)^{1,514}$$
$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49$$

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

(1) — Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

(2) — Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) — Piracicaba, SP. Depto. de Física e Meteorologia (ESALQ).

Thornthwaite apresenta em seu trabalho um nomograma para facilitar o cálculo nos casos de temperatura mensal média inferior a 26,5° C e uma tabela para temperaturas mais elevadas.

Evidentemente a evapotranspiração não depende apenas da temperatura do ar, fato este que limita a precisão do método.

#### CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DE PENMAN (1956)

Este método tem como base expressões combinadas do balanço de energia e dos processos aerodinâmicos (perfil do vento, transporte turbulento de massa e calor, etc.).

Penman apresenta a seguinte expressão :

$$EP = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

onde :

EP = a evapotranspiração em milímetros por dia.

$\Delta$  = a tangente à curva de tensão de saturação de vapor d'água, na temperatura do termômetro úmido, medida sobre a superfície.

$\gamma$  = a constante psicométrica, valendo aproximadamente 0,5 milímetros por grau centígrado. (Tabelas são feitas para determinar a razão  $\Delta/\gamma$  em função da temperatura média diária do ar).

H = o balanço de radiação diário, em milímetros por dia. Este balanço é obtido neste estudo, a partir da equação empírica :

$$H = Q_c - Q_L = Q_o \left( 0,26 + 0,51 \frac{n}{N} \right) \left( 1 - R \right) - \epsilon T^4 \left( 0,56 - 0,09 \sqrt{\ell_a} \right) \left( 0,1 + 0,9 \frac{n}{N} \right)$$

onde :

$Q_c$  = o balanço de ondas curtas.

$Q_L$  = o balanço de ondas longas.

$Q_o$  = a radiação recebida do sol, no topo da atmosfera.

$n/N$  = a razão de insolação, que relaciona o número real (n) e o número máximo (N) de horas de brilho solar por dia.

R = o albedo ou poder refletor que, para floresta é aproximadamente 0,15.

$\epsilon$  = constante de Stefan — Boltzman.

$\ell_a$  = tensão de vapor dada por :

$$\ell_a = \frac{U_r \cdot \ell_s}{100}$$

onde :

$U_r$  = a umidade relativa do ar.

$\ell_s$  = a tensão de vapor saturado, função da temperatura do ar.

$E_a$  = o poder evaporante do ar, dado por :

$$E_a = 0,35 \left( 1 + \frac{V}{160} \right) (\ell_s - \ell_a)$$

onde :

V = velocidade média diária do vento em quilômetros por dia.

As constantes da equação do balanço de radiação aqui apresentada foram adaptadas ao estudo em vegetação tropical de grande porte e extensão, conforme Villa Nova et al., 1976.

#### CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E MATHER (1955)

Para utilização deste método deve-se :

- indicar a média mensal da precipitação, obtida por medição direta;
- estimar a evapotranspiração potencial para cada mês, pelo método de Thornthwaite;

c) eleger ou estimar a capacidade de água disponível no perfil (C.A.D.) e obter mensalmente a diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial;

d) com base nos resultados do item anterior, estimar o excedente hídrico, a deficiência hídrica, a retirada e a reposição de água no perfil do solo, bem como os períodos do ano em que ocorrem tais eventos.

Neste trabalho considerou-se a capacidade de água disponível no perfil do solo (C.A.D.) como sendo 125 milímetros.

#### RESULTADOS OBTIDOS

##### EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

As estimativas da evapotranspiração potencial mensal (EP), pelo método de Thornthwaite foram obtidas em função das temperaturas médias mensais indicadas na tabela I.

**TABELA I — Resultados relativos a Evapotranspiração Potencial pelos métodos de Thornthwaite (1948) e Penman (1956).**

MÊS	TEMP. (°C) MÉDIA	EP (mm/mês) (Thornthwaite)	EP (mm/mês) (Penman)
JAN	25.4	122	124
FEV	25.3	121	109
MAR	25.0	118	118
ABR	25.4	122	111
MAI	25.8	128	124
JUN	25.0	118	117
JUL	25.2	121	133
AGO	25.8	128	155
SET	25.9	129	153
OUT	26.6	135	158
NOV	26.2	132	141
DEZ	25.9	129	130
		1503	1573

Os dados para a estimativa da evapotranspiração potencial mensal (EP) pelo método de Penman estão apresentados na tabela II, e os valores de (EP) estão resumidos na tabela I.

**TABELA II — Resultados relativos a Evapotranspiração Potencial pelo método de Penman (1956).**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
$Q_c$	883	904	900	858	800	763	773	822	873	894	885	872
n/N	0,38	0,33	0,30	0,31	0,46	0,56	0,66	0,71	0,60	0,54	0,48	0,40
$\overline{T^4}$	946	946	939	936	952	939	939	952	952	958	952	952
$l_s$	24,3	24,2	23,8	24,3	24,9	23,8	24,0	24,9	25,1	26,1	25,5	25,1
$l_a$	22,3	22,3	21,9	22,1	23,2	21,7	21,4	21,7	21,6	21,9	22,4	22,3
$Q_c$	340,6	329,1	315,9	304,9	336,3	353,9	392,0	434,7	420,0	406,9	379,7	343,9
$Q_L$	54,1	49,2	48,6	50,3	48,6	78,9	99,7	98,6	85,3	79,1	65,6	56,9
H cal/cm <sup>2</sup> dia	286,5	279,9	267,3	254,6	287,8	275,0	292,3	336,0	334,7	327,7	314,2	286,9
H mm/dia	4,85	4,74	4,53	4,31	4,88	4,66	4,95	5,69	5,67	5,55	5,32	4,85
$\Delta/\xi$	2,9	2,9	2,8	2,9	3,0	2,8	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
V	224,6	233,3	233,3	207,4	250,6	224,6	259,2	233,3	267,8	241,9	233,3	233,3
$E_a$	1,68	1,63	1,63	1,77	1,53	1,77	2,38	2,75	3,28	3,69	2,67	2,41
EP mm/dia	4,0	3,9	3,8	3,7	4,0	3,9	4,3	5,0	5,1	5,1	4,7	4,2
EP mm/mês	124	109	118	111	124	117	133	155	153	158	141	130

TABELA III — Balanço Hídrico seg. Thornthwaite (1955) Manaus-AM. Lat. 3°08'S Long. 60°01'W Alt. 84,00 m.

Mês	Temp. mé dia do ar (°C)	EP Não cor- rigida (mm)	Correção	EP Mensal (mm)	P (mm)	P — EP (mm)	Neg. Acum	Arm. (mm)	Alt. (mm)	ER (mm)	Def. (mm)	Exc. (mm)
JAN	25,4	122	1,05	128	282	+ 154	0	125	0	128	0	154
FEV	25,3	121	0,95	115	279	+ 164	0	125	0	115	0	164
MAR	25,0	118	1,04	123	331	+ 208	0	125	0	123	0	208
ABR	25,4	122	1,00	122	314	+ 192	0	125	0	122	0	192
MAI	25,8	128	1,03	132	295	+ 163	0	125	0	132	0	163
JUN	25,0	118	1,00	118	135	+ 17	0	125	0	118	0	17
JUL	25,2	121	1,03	125	138	+ 13	0	125	0	125	0	13
AGO	25,8	128	1,03	132	96	- 36	36	93	- 32	128	4	0
SET	25,9	129	1,00	129	87	- 42	78	66	- 27	114	15	0
OUT	26,6	135	1,05	142	123	- 19	97	56	- 10	133	9	0
NOV	26,2	132	1,02	135	176	+ 41	31	97	+ 41	135	0	0
DEZ	25,9	129	1,05	135	222	+ 87	0	125	+ 28	135	0	59
Total Anual	25,6			1536	2478	+ 942			0	1508	28	970

LEGENDA:

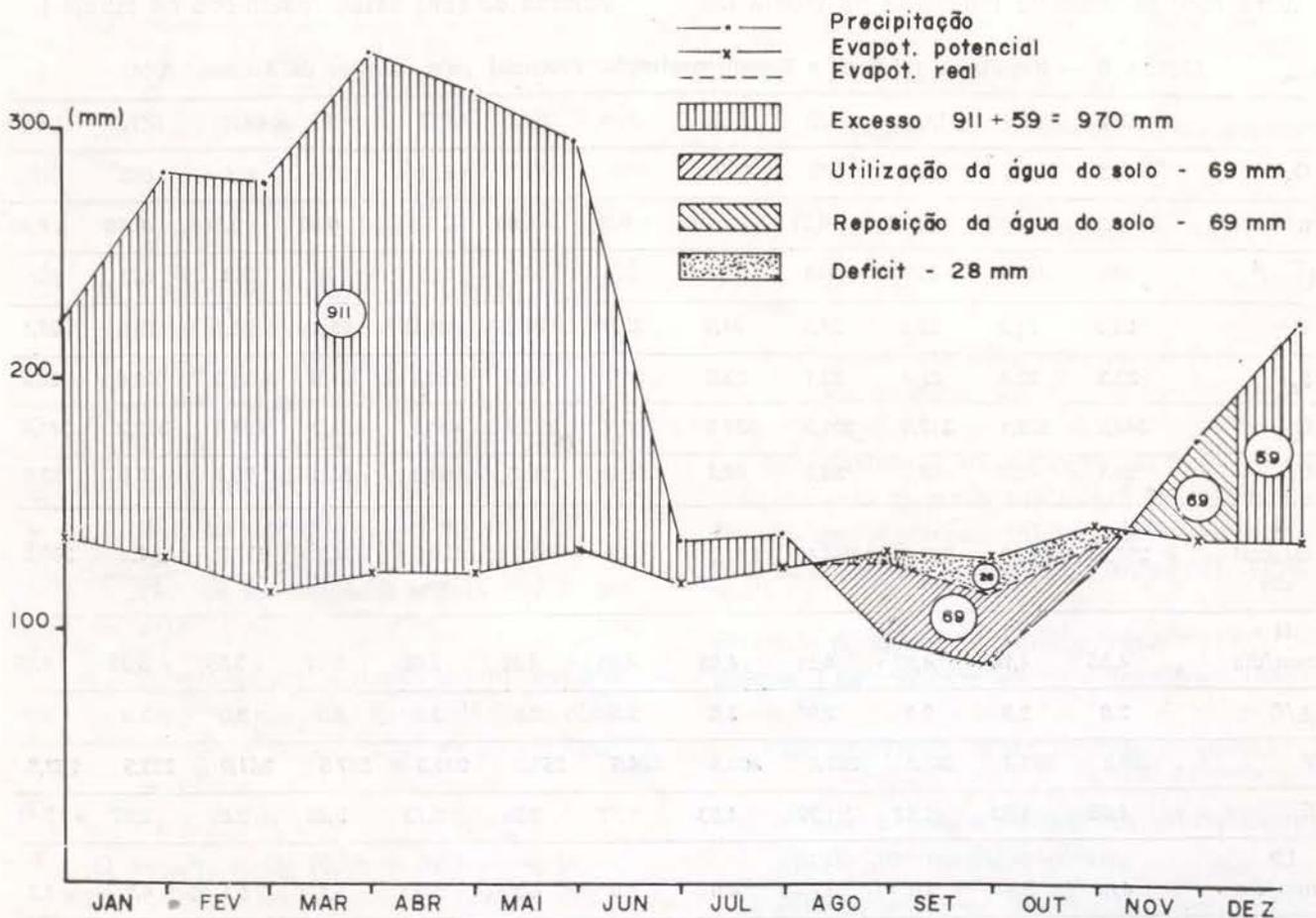


Gráfico I — Representação gráfica do Balanço Hídrico

## BALANÇO HÍDRICO, PERÍODO 1965 - 1973

O balanço hídrico aqui apresentado é a contabilidade de entrada e saída da água no solo. Como participantes do balanço hídrico, encontram-se, em condições naturais, a precipitação (P) como fornecedora de água à superfície do solo; uma parte desta água pode não entrar no solo, mas escoar por sua superfície (deflúvio superficial); da quantidade de água que realmente penetra no solo, parte fica armazenada na camada útil à vegetação e parte percola abaixo desta camada devido a drenagem profunda; finalmente, existem as perdas devidas à evaporação pela superfície do solo e das plantas e à transpiração pela vegetação (evapotranspiração).

Assim, considerando o princípio de conservação da massa, tem-se o seguinte balanço (no caso de região natural, sem receber irrigação artificial): Precipitação + Armazenamento + Drenagem + Deflúvio + Evapotranspiração = 0.

A tabela 3 apresenta os resultados do balanço hídrico para a área em estudo pelo método proposto por Thornthwaite & Mather (1955). Os resultados obtidos estão resumidos no gráfico I.

### CONCLUSÕES

Numa comparação entre os resultados obtidos nos dois métodos empregados para a estimativa de evapotranspiração potencial mensal (EP) observamos que o método de Thornthwaite sub-estima nos meses de julho a novembro os resultados em relação ao método de Penman, fato este devido ao alto valor relativo de insolação do período, determinando um balanço de energia mais elevado, e conseqüentemente um maior valor nas estimativas de evapotranspiração pelo método de Penman. O método de Thornthwaite sendo dependente apenas da temperatura do ar, não acusa com a devida intensidade as variações devidas a esse parâmetro.

De acordo com o balanço hídrico apresentado observa-se que a evapotranspiração potencial é igual a evapotranspiração real durante quase todo o ano, à exceção dos três

meses de déficit. A floresta, nesta região estudada, e que representa as condições climáticas médias da Amazônia Central deve conservar uma evapotranspiração real próxima da evapotranspiração potencial, já que são praticamente atendidas durante todo o ano, as condições de teor de umidade próximas a capacidade de campo. Assim sendo, a evapotranspiração potencial deverá estar sempre em torno de 100 a 160 mm por mês.

Pelos dados estimados do balanço de radiação e do balanço hídrico, evidencia-se que cerca de 70% da radiação global incidente é interceptada para transpiração, quando não houver déficit de água no solo.

### AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Enéas Salati pelas sugestões apresentadas na preparação do manuscrito. Aos Drs. José Lima Filho e Isimar Santos, pela colaboração na análise estatística dos dados climatológicos.

### SUMMARY

The present work is based on Meteorological data for the period 1965-1973 collected at Ducke Forest Reserve of the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) located at Km 26 of the Torquato Tapajós Highway. Potential Evapotranspiration was estimated by Thornthwaite's and Penman's methods and the Water Balance was measured by Thornthwaite's and Mather's methods.

### BIBLIOGRAFIA

- DECICO, A.; SANTOS, H.M.; RIBEIRO, M.N.G. & SALATI, E.  
1977 — Estudos Climatológicos da Reserva Florestal Ducke, Manaus-AM. I. Geotemperaturas. *Acta Amazonica* 7(4) : 485-494.
- PENMAN, H.L.  
1956 — Evaporation: An Introductory Survey. *Neth. J. Agr. Sc.* Wageningen, Holland (4):9-29.
- RIBEIRO, M.N.G.  
1976 — Aspectos climatológicos de Manaus. *Acta Amazonica* 6(2) : 229-233.
- THORNTHWAITTE, C.W. & MATHER, J.K.  
1955 — *The Water Balance Climatology* Centerton, N.J. (8) : 104 p.
- VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E. & MATSUI, E.  
1979 — Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amazonica* 6(2) : 215-228.

(Aceito para publicação em 9/04/79)