

Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica (*)

N. A. Villa Nova (1)

E. Salati (2)

E. Matsui (3)

Resumo

O balanço hídrico da Bacia Amazônica é um problema de difícil solução, não somente pelas dimensões e características da região, como também pela escassez de dados meteorológicos e hidrológicos. Procurando estimar a grandeza dos principais componentes do balanço hídrico, foi realizado um estudo com dados da Região Amazônica brasileira e de algumas estações de outros países. Fez-se o balanço de energia e, com base no mesmo, fez-se o balanço hídrico da região, adaptando-se o método de Penman para as condições de florestas. Os dados obtidos indicam que 90% da evapotranspiração deve-se ao balanço de energia. A evapotranspiração real, deve, nesta região, ser aproximadamente igual à potencial e a média encontrada foi da ordem de 4mm/dia, ou seja, 1460mm/ano. Em uma primeira aproximação, a Bacia Amazônica funciona como um sistema que recebe, através da precipitação, $12,2 \times 10^{12} \text{m}^3$ de água por ano, sendo este total balanceado por uma descarga superficial de $5,5 \times 10^{12} \text{m}^3/\text{ano}$ e uma evapotranspiração de $6,7 \times 10^{12} \text{m}^3/\text{ano}$. Desde que a transpiração pelas plantas representa 61,9% do balanço hídrico, tudo indica que um desmatamento intensivo deverá trazer alterações no ciclo hidrológico.

INTRODUÇÃO

O balanço hídrico da Bacia Amazônica é um problema de difícil solução, não só pelas dimensões e características da região, mas especialmente pela escassez de dados meteorológicos e hidrológicos. A descarga do rio Amazonas em Óbidos foi determinada de maneira direta recentemente Oltman (1964 e 1966). A descarga dos afluentes é ainda desconhecida na sua maioria, sendo que algumas medidas de vazões relativas dos rios Negro e Solimões, foram feitas por processos indiretos através das concentrações de ^{18}O das águas daqueles rios, Matsui *et al.* (1973).

Pelos dados de Oltman et al (1966), a descarga média do rio Amazonas em Óbidos, é de $157.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com uma variação de $85.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (em novembro) a $240.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (em maio e junho). A área drenada até Óbidos é cerca de $5.000.000 \text{ km}^2$ e a área total da bacia até a foz é aproximadamente $6.000.000 \text{ km}^2$. Com base em algumas medidas feitas no rio Tocantins e em dados de precipitação Oltman estimou que a descarga média do rio Amazonas na foz, é da ordem de $175.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Pelos dados de precipitação apresentados pelo Departamento Nacional de Meteorologia e pelos valores de estações meteorológicas da Colômbia, a precipitação média da bacia deverá ser da ordem de 2.000 mm por ano.

Assim, a precipitação média total na Bacia Amazônica é da ordem de $12,0 \times 10^{12} \text{ m}^3$ por ano, enquanto que a vazão na foz é da ordem de $5,52 \times 10^{12} \text{ m}^3$ por ano, ou seja, a quantidade de água precipitada é aproximadamente 2,2 vezes maior que a água que se escoou pela calha principal do Amazonas, voltando ao oceano. Estes dados, embora escassos e de precisão limitada, indicam que a evaporação e a evapotranspiração devem ser responsáveis por uma parte relativamente ponderável do balanço hídrico da região. Por outro lado, as medidas de interação entre a Bacia Amazônica, as Bacias do Orenoco e a Platina são bem pouco conhecidas, embora saiba-se que existem áreas de interligação entre as mesmas.

Enquanto outras pesquisas estão sendo desenvolvidas por métodos isotópicos, (Salati et al. 1973), a fim de se estimar a recirculação interna de vapor d'água, o presente trabalho tem por finalidade estabelecer, com base em alguns dados disponíveis, uma estimativa da evapotranspiração para a floresta Amazônica.

(*) — Trabalho realizado com o auxílio da CNEN e da FAPESP (Processo-Física 73/479) e coordenado pelo DPCT da CNEN.

(1) — Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Piracicaba, SP.

(2) — Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) e Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Piracicaba, SP.

(3) — Centro de Energia Nuclear na Agricultura e Centro Nacional de Energia Nuclear.

Foi adotado nesta primeira estimativa, o método de Penman (1948), que combina as equações de balanço de energia com as de transferência de massa. A adaptação deste método para as superfícies cobertas por florestas foi feita seguindo as técnicas propostas por Shiau et al. (1973).

MATERIAL E MÉTODO

O MÉTODO DE PENMAN

O método de Penman (1948) para cálculo de evapotranspiração é expresso pelo conjunto das equações:

$$E_T = E_H + E_A \dots\dots\dots (1) \text{ onde,}$$

$$E_H = \frac{S/Y}{S/Y + 1} H \dots\dots\dots (2)$$

$$E_A = \frac{1}{S/Y + 1} E_a \dots\dots\dots (3), \text{ onde,}$$

$$H = Q_o \left(a + b \frac{n}{N} \right) (1-R) - \sigma T_a^4 \left(a' - b' \frac{V_2}{a} e_s \right) \left(a'' + b'' \frac{n}{N} \right) \dots\dots\dots (4),$$

$$E_a = 0.35 \left(1 + 0.54 \frac{V_2}{2} \right) (e_s - e) \dots\dots\dots (5),$$

cujos termos significam,

E_T = evapotranspiração potencial (mm/dia).

E_H = fração de E_T devida ao balanço de energia (mm/dia).

E_A = fração de E_T devida ao déficit de saturação do ar.

H = balanço de energia local (mm/dia).

E_a = poder evaporante do ar à sombra (mm/dia).

$\frac{S}{Y}$ = uma constante função da temperatura média do ar.

Q_o = constante solar diária (mm/dia).

a e b = parâmetros de transparência da atmosfera para onda curta.

a' e b' = parâmetros de transparência da atmosfera para onda longa.

R = poder refletor da superfície evaporante.

σ = constante de Stefan-Boltzmann = $2,01 \times 10^{-9}$ mm H₂O/dia °K⁴

$\frac{n}{N}$ = razão de insolação no período considerado.

T_a = temperatura média do ar à sombra (°K).

e = tensão parcial de vapor (mm Hg).

e_s = tensão de saturação de vapor d'água a temperatura do ar (mm Hg).

V_2 = velocidade do vento, medida a 2,0 m acima da superfície evaporante (m/s).

O conjunto de equações (1), (2), (3), (4) e (5) tem sua aplicação restrita à cobertura vegetal de porte médio, quando se observam condições para ocorrência da taxa de evapotranspiração potencial, — sendo os dados de n/N , T_a , e e V_2 coletados em estação climatológica comum.

ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DE PENMAN PARA COBERTURA VEGETAL DE GRANDE PORTE

Transformação de dados observados na superfície

As modificações realizadas são aquelas sugeridas por Shiau et al. (1973), relativas à transformação dos dados observados em estação climatológica padrão, para dados da parte superior de um maciço florestal de mesma latitude e altitude, como se segue:

Velocidade do vento ao nível da copa

Em estações climatológicas padrão mede-se usualmente a velocidade de fluxo livre do vento, geralmente a 10 m de altura (V_{10}). De acordo com Geiger (1966) a velocidade média do vento no interior da parte superior da copa (V_c) é cerca de 40% da velocidade de fluxo livre (V_{10}) ou seja:

$$V_2 \approx V_c \approx 0,4 V_{10} \dots \dots \dots (6)$$

Desde que, devido à própria distribuição de radiação e vento, a parte superior da copa é a zona mais ativa no processo evaporativo, a expressão (5) modificada para cobertura vegetal de grande porte tornar-se-á:

$$E_a = 0,35 (1 + 0,54V_c) (e_s - e) \dots (7)$$

ou ainda, de acordo com (6),

$$E_a = 0,35 (1 + 0,216 V_{10}) (e_s - e_c) (8),$$

onde,

E_a = poder evaporante do ar na parte superior do maciço (mm/dia).

V_{10} = velocidade de fluxo livre do vento (m/s).

e_s = tensão de saturação à temperatura do ar.

e_c = tensão parcial de vapor na parte superior da copa.

Pressão parcial de vapor ao nível da copa

A pressão parcial da atmosfera em estações climatológicas é derivada da umidade relativa pela equação:

$$e = 0,01 (U.R.) e_s \dots \dots \dots (9)$$

Geiger (1966) demonstra que são pequenas as diferenças de pressão de vapor entre o nível do solo e a copa, em uma floresta, desde que existe um fluxo ascendente de vapor

d'água. Para o caso de extensas regiões de floresta tropical, não devemos esperar grandes diferenças entre a pressão de vapor medida em estação climatológica situada em local aberto, e o nível da copa das árvores, de tal modo que com boa aproximação poderemos considerar:

$$e_c \approx e \dots \dots \dots (10)$$

Adaptação de parâmetros

Parâmetros a e b

De acordo com Glover & McCulloch (1958), o valor dos parâmetros a e b não são universais devendo ser determinados para cada região. Citamos abaixo algumas determinações realizadas:

- a) Virgínia, USA: a = 0,22, b = 0,54, Kimball (1914).
- b) Canberra, Austrália: a = 0,25, b = 0,54, Prescott (1940).
- c) Rothamsted, Inglaterra: a = 0,18, b = 0,55, Penman (1948).
- d) São Paulo, Brasil (média do estado): a = 0,24, b = 0,58, Cervellini et al. (1966).
- e) Piracicaba, Brasil: a = 0,26, b = 0,51, Ometto (1967).
- f) Petit-Bourg, Guadeloupe: a = 0,26, b = 0,51, Bonhome et al., (1973).

Em face de tais dados adotamos os valores a = 0,26 e b = 0,51, determinados por Ometto e Bonhome em condições tropicais úmidas.

Parâmetros a', b' e a'', b''

No equacionamento de Penman os valores adotados de a'b' e a''b'', pelos bons resultados obtidos, são os seguintes:

$$a' = 0,56 \quad b' = 0,09$$

$$a'' = 0,10 \quad b'' = 0,90$$

sendo a' e b' dependentes da tensão parcial de vapor (e) e a'', b'' função do tipo e altura de nuvens.

Segundo Shiau (1973), para o caso de maciços florestais, o erro decorrente do uso de tais valores é bastante atenuado se considerarmos períodos mensais de estimativa. Na falta de avaliações de tais parâmetros para nossas condições, utilizaremos esses mesmos valores.

Poder refletor

De acordo com Reifsnnyder et al. (1965), o albedo de maciços de coníferas oscila entre 0,11 e 0,20 ao longo das estações do ano. Para condições de mata tropical sempre verde, julgamos coerente o uso da média destes valores, ou seja: $R = 0,15$.

A equação modificada de Penman

Em face ao conjunto de considerações expostas, a equação de Penman, adaptada para vegetação tropical de grande porte e extensão, tornar-se-á:

$$E_T = E_H + E_A \dots\dots\dots (11) \text{ onde,}$$

$$E_H = \frac{S/Y}{S/Y + 1} \cdot H_m \dots\dots\dots (12).$$

$$E_A = \frac{1}{S/Y + 1} \cdot E_a \dots\dots\dots (13) \text{ onde,}$$

$$H_m = Q_o \left(0,26 + 0,51 \frac{n}{N} \right) (1-R) - \sigma T_a^4$$

$$(0,56 - 0,09 \sqrt{e}) \left(0,1 + 0,9 \frac{n}{N} \right) \dots\dots\dots (14),$$

$$E_a = 0,35 \left(1 + 0,216 \frac{V_{10}}{10} \right) (e_s - e) \dots\dots\dots (15),$$

onde os índices m se referem a "maciço florestal" e V_{10} a velocidade de fluxo livre de vento, geralmente medida a 10,0 m em estação climatológica padrão; os outros símbolos têm o significado original.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os dados, de temperatura média, insolação, umidade relativa, precipitação e velocidade de vento, para as cidades estudadas estão indicados na Tabela I.

Pelo método exposto no parágrafo 2, foram calculados E_H e E_T , para as cidades

de Belém, Manaus e Benjamin Constant, que estão aproximadamente na mesma latitude ao longo do rio Amazonas. Nestes locais as médias diárias foram calculadas a partir de 24 medidas horárias. Os dados obtidos estão indicados nas Figuras 1, 2 e 3, nos quais são indicados ainda os valores de Q_o e Q_s , sen-

do $Q_s = Q_o \left(a + b \frac{n}{N} \right)$, a estimativa da

energia solar que atinge a superfície. Os dados de energia estão expressos em milímetros equivalentes de água evaporada (1 mm de água corresponde a 59 cal). Note-se que os valores do balanço de energia encontrados concordam em ordem de grandeza com os determinados por Costa Azevedo et al. (1974).

Na Tabela II, estão os valores mensais de E_H , E_T e a relação $f = E_H / E_T$ para cada

mês nas cidades de Belém, Manaus e Benjamin Constant. Os valores de f indicados nesta Tabela constituem a fração correspondente à contribuição do balanço de energia na evapotranspiração potencial; a fração da contribuição do "fator aerodinâmico" pode ser obtida pela relação $(1 - f)$. Na Tabela II, estão também indicados os valores médios de f , para as 3 cidades. De maneira geral encontrou-se que cerca de 90% da evapotranspiração potencial, é devida ao balanço de energia, enquanto que cerca de 10% é devida ao "fator aerodinâmico" dependente da umidade relativa do ar, da temperatura e da velocidade do vento. Na Tabela III são relatados os valores médios mensais de evapotranspiração potencial, estimados pelo método proposto, para as diferentes localidades estudadas.

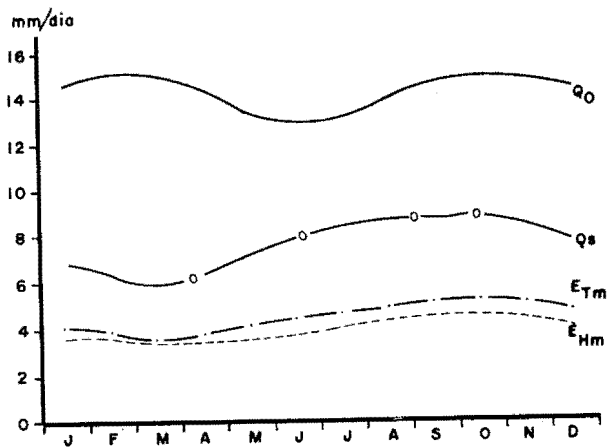


Fig. 1 — Valor médio mensal dos componentes do balanço de energia (Q_0 e Q_s) e evapotranspiração potencial (E_{Tm} e E_{Hm}) da estação de Belém(PA).

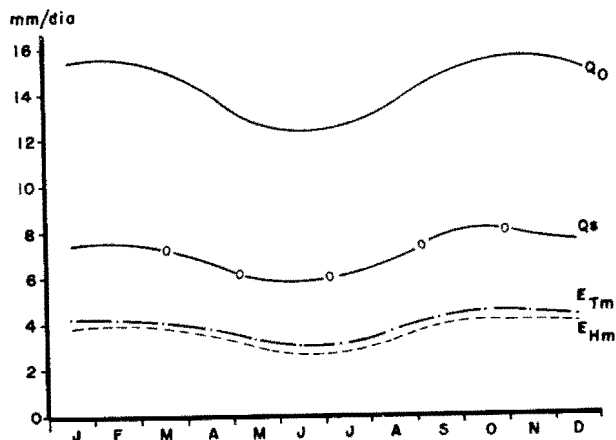


Fig. 3 — Valor médio mensal dos componentes do balanço de energia (Q_0 e Q_s) e evapotranspiração potencial (E_{Tm} e E_{Hm}) da estação de Benjamin Constant(AM).

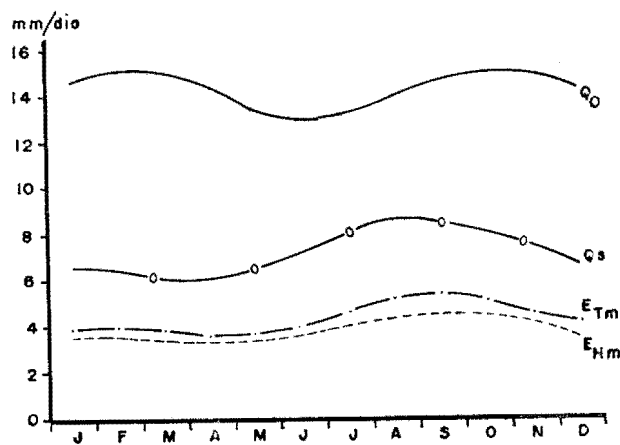


Fig. 2 — Valor médio mensal dos componentes do balanço de energia (Q_0 e Q_s) e evapotranspiração potencial (E_{Tm} e E_{Hm}) da estação de Manaus(AM).

Os valores médios ponderados de acordo com a distribuição dos pontos de observação, indicam que a evapotranspiração potencial média para a área da Bacia Amazônica é da ordem de 4 mm por dia, ou seja 1.460 mm por ano. Pelo aspecto da floresta (sempre verde e em constante crescimento vegetativo de reposição), nas partes baixas da bacia, pode-se admitir que a evapotranspiração potencial seja próxima da evapotranspiração real. Sendo a precipitação média, 2.000 mm por ano, vê-se

que a evapotranspiração potencial corresponde a 73% da precipitação. Nas paisagens botânicas denominadas "cerrados", a situação pode ser diferente, porque a evapotranspiração real é menor do que a potencial.

Numa primeira aproximação, a Bacia Amazônica, aproxima-se de um sistema que recebe por precipitação $12 \times 10^{12} \text{ m}^3$ de água por ano, sendo este total balanceado por uma descarga superficial de $5,52 \times 10^{12} \text{ m}^3$ por ano e uma evapotranspiração real estimada de $6,48 \times 10^{12} \text{ m}^3$ por ano.

Como vimos, o balanço de energia é responsável em aproximadamente 90% de evapotranspiração potencial. Sabe-se que qualquer modificação nas características da cobertura do solo implicaria não só em alterações nos parâmetros do balanço de energia, como também na dinâmica do escoamento, afetando diretamente o processo evaporativo. Como consequência, uma provável diminuição da umidade relativa deverá determinar, a exemplo dos climas desérticos, maiores oscilações térmicas, e profundas alterações no equilíbrio dos sistemas convectivos característicos da região.

Pretendem os autores deste trabalho, numa fase posterior, anexando um maior número de dados, complementá-lo, com o objetivo de aprimorar as estimativas realizadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Diretor e os funcionários do Departamento Nacional de Meteorologia do M. A. e o capitão C. Tatagiba do C. T. A. pelo auxílio na obtenção de alguns dados meteorológicos.

SUMMARY

The establishment of a water balance for the Amazon Basin constitutes a problem of difficult solution, not only on the account of its extension and characteristics, but also for lack of sufficient meteorological and hydrological data. In an attempt to estimate the magnitude of the main components of the water balance, a study was made with data from the Brazilian Amazon Region and from some observation stations in other countries.

An energy balance was made and based on this balance the water balance of the region was established, having the Penman method been adapted to forest conditions. The data obtained indicate that 90% of the evapotranspiration is due to the energy balance. The evapotranspiration in this area should be very close to the potential evapotranspiration, and the average found was of the order of 4mm/day, i.e., 1460mm/year. As a first approximation it was found that the Amazon Basin system receives $4.4 \times 10^{12} \text{m}^3$ water/year through precipitation, this total being balanced by a surface discharge of $5.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ /year and an evapotranspiration of $8.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ /year. Since transpiration by plants represents 61.6% of the ~~water balance~~ ^{PRECIPITATION}, all seems to indicate that intensive deforestation shall bring about alterations of the hydrologic cycle.

BIBLIOGRAFIA CITADA

BONHOMME, R. & GRANCHER, C.V.

1974 — Measurement e estimation of evapotranspiration in French West Indies. In: **Annual meeting of the Caribbean Food Crops Society, 11., Barbados.**

CERVellini, A.; SALATI, E. & GODOY, H.

1966 — A estimativa da distribuição da energia solar no Estado de São Paulo. **Bragantia**, 25 : 31-40.

COSTA AZEVEDO, D.; PINTO M.M. & AZEVEDO M.L.

1974 — Distribuição da radiação solar na região amazônica. In: **Simpósio Brasileiro de Energia Solar, 2., João Pessoa.**

GEIGER, R.

1966 — **The climate near the ground.** Mass., Harvard University Press.

GLOVER, J. & MCCULLOGH, J.S.G.

1958 — The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 84 : 172.

KIMBALL, H.H.

1914 — **Montly Weather Review**, 42 : 474. Apud Shiau, S.Y. & Davar, K.S.

MATSUI, E.; SALATI, E.; BRINKMANN, W.L.F. & FRIEDMAN, I.

1972 — Vazões relativas dos rios Negro e Solimões através das concentrações de ^{18}O . **Acta Amazonica**, 2(3) : 31-37.

OLTMAN, R.E.

1967 — Reconnaissance investigations of the discharge and water quality Amazon. In: **Atas do Simpósio sobre a Biotá Amazonica, 3 (Limnologia)** : 163-185.

OLTMAN, R.E.; STERNBERG, H.O.R.;

AMES, F.C. & DAVIS JR., L.C.

1964 — Amazon river investigations reconnaissance measurements of July 1963. **Geological Survey Circular**, 486.

OMETTO, J.C.

1967 — **Estudo das relações entre Radiação Solar Global, Radiação Líquida e Insoiação.** Piracicaba, SP. (Tese de doutoramento-ESALQ)

PENMAN, H.L.

1948 — Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. R. Soc. Ser. A**, London, 193 : 120-145.

PRESCOTT, J.A.

1940 — **Trans. R. Soc. South Australia**, 64 : 114. Apud Shiau, S.V. & Davar, K.S.

REFSNEIDER, W.E. & LULL, H.V.

1965 — Radiant energy in relation to forest. **U.S. Dep. Agric. Forest Service, Tech. Bull.**, 1344.

SALATI, E.; MATSUI, E.; CERVellini, A. & FRIEDMAN, I.

1973 — **Isotope Hydrology in Amazonia — I — $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{D}$ in river waters.** In press, 1973.

SALATI, E.; OMETTO, J.C.; CERVellini, A.;

VILLA NOVA, N.A. & SANTOS, J.M.

1966 — Estudo de determinação da radiação solar em Piracicaba, SP. **Boletim Técnica, S.M.M. Agricultura**, 5 : 1-5.

SHIAU, S.V. & DAVAR, K.S.

1973 — Modified Penman method for potencial evapotranspiration from forest regions. **Journal of Hydrology**, 18 : 349-365.

VILLA NOVA, N.A.

1974 — **Estudos sobre balanço de energia em cultura de arroz.** Piracicaba, SP. (Tese de Livre-Docência, ESALQ)

APÊNDICE

TABELA 1 — Dados meteorológicos e coordenadas geográficas das estações

MÉDIAS 1961 — 1973	Estação: ALTAMIRA Lat. 3°12'S Long. 52°45'W Alt. 75m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,5	25,1	25,2	25,2	25,3	25,4	25,2	25,9	26,8	26,5	26,7	26,0	25,7
Umid. Relat. (%)	84	88	88	89	89	88	86	84	84	81	81	81	85
Vento (m/s)	1,8	2,2	1,8	1,6	1,4	1,5	1,6	2,1	2,1	2,3	2,3	2,2	1,9
Chuva (mm)	223	241	344	269	204	95	81	22	22	33	46	130	1710
n/N	0,24	0,23	0,19	0,22	0,38	0,18	0,41	0,55	0,48	0,34	0,20	0,23	0,30

MÉDIAS 1931 — 1960	Estação: ALTO TAPAJÓS Lat. 7°20'S Long. 57°30'W Alt. 140m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,1	25,2	25,3	25,5	25,5	24,9	24,4	25,5	25,8	25,6	25,5	25,3	25,3
Umid. Relat. (%)	92	92	92	92	89	86	83	81	87	90	91	92	89
Vento (m/s)	1,0	1,0	1,1	0,6	1,2	1,3	1,6	1,4	1,5	1,3	1,3	1,3	1,2
Chuva (mm)	408	375	434	285	128	26	11	33	138	235	315	329	2717
n/N	0,26	0,28	0,28	0,36	0,52	0,65	0,64	0,70	0,48	0,49	0,34	0,28	0,44

MÉDIAS 1931 — 1960	Estação: BARCELOS Lat. 0°59'S Long. 62°55'W Alt. 40m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	26,1	26,2	26,3	25,0	25,6	25,5	25,4	26,0	26,0	26,4	26,5	26,6	26,0
Umid. Relat. (%)	86	85	84	88	88	87	86	85	84	85	84	85	86
Vento (m/s)	1,7	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7
Chuva (mm)	172	145	174	256	272	234	169	118	105	118	111	125	1999
n/N	0,45	0,45	0,44	0,39	0,41	0,44	0,45	0,47	0,53	0,52	0,49	0,47	0,46

Estimativa da evapotranspiração...

Tabela I — (continuação)

MÉDIAS 1951 — 1960	BENJAMIN												
	Estação: CONSTANT Lat. 4°22'S Long. 70°02'W Alt. 80m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	24,4	24,3	24,2	24,2	24,1	23,4	22,9	23,8	24,5	24,6	24,7	24,6	24,2
Umid. Relat. (%)	89	90	91	90	90	86	87	88	88	89	90	91	89
Vento (m/s)	1,5	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5
Chuva (mm)	340	280	350	280	210	140	120	140	200	220	250	280	2810
n/N	0,45	0,45	0,44	0,43	0,43	0,40	0,44	0,47	0,53	0,52	0,49	0,47	0,46

MÉDIAS 1961 — 1973	CARAUARI												
	Estação: CARAUARI Lat. 4°57'S Long. 66°54'W Alt. 81m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,9	26,2	25,8	24,9	25,5	25,3	24,8	25,2	25,3	26,1	25,9	25,8	25,6
Umid. Relat. (%)	88	88	87	89	89	90	87	85	85	86	86	87	87
Vento (m/s)	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7
Chuva (mm)	330	173	227	336	245	152	89	157	186	230	310	269	2704
n/N	0,47	0,32	0,32	0,29	0,33	0,46	0,49	0,50	0,52	0,43	0,31	0,27	0,39

MÉDIAS 1931 — 1960	COARI												
	Estação: COARI Lat. 4°05'S Long. 63°08'W Alt. 49m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,2	25,2	25,4	25,2	25,3	25,3	25,4	26,0	26,0	25,9	25,9	25,6	25,5
Umid. Relat. (%)	89	89	90	90	90	89	87	85	85	87	87	88	88
Vento (m/s)	0,3	0,3	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Chuva (mm)	315	274	280	283	226	134	88	75	99	158	188	222	2347
n/N	0,33	0,36	0,28	0,31	0,47	0,59	0,68	0,67	0,60	0,49	0,44	0,38	0,47

Tabela I — (continuação)

MÉDIAS 1931 — 1960	Estação: FONTE BOA Lat. 2°32'S Long. 66°10'W Alt. 56m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	24,8	24,9	24,9	24,8	24,7	24,5	24,3	24,9	25,2	25,3	25,3	25,2	24,9
Umid. Relat. (%)	89	89	89	89	90	89	89	88	87	88	88	87	89
Vento (m/s)	1,6	1,4	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4
Chuva (mm)	298	237	278	336	314	233	175	149	150	194	186	247	2802
n/N	0,45	0,45	0,43	0,43	0,42	0,44	0,45	0,47	0,52	0,50	0,48	0,49	0,46

MÉDIAS 1962 — 1973	Estação: HUMAITÁ Lat. 7°31'S Long. 63°02'W Alt. 50m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,6	25,5	25,9	25,9	25,8	25,6	25,3	26,3	26,5	26,3	26,3	26,2	25,9
Umid. Relat. (%)	87	88	89	88	87	83	80	79	81	82	84	86	85
Vento (m/s)	1,9	2,0	1,6	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,2	2,1	1,9
Chuva (mm)	261	277	319	250	163	54	21	60	107	184	255	283	2234
n/N	0,34	0,29	0,36	0,36	0,41	0,53	0,57	0,61	0,60	0,50	0,39	0,41	0,45

MÉDIAS 1931 — 1960	Estação: YAUARETÊ Lat. 0°18'S Long. 68°54'W Alt. 122m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,2	25,2	25,3	25,1	24,9	24,4	24,1	24,5	25,1	25,3	25,5	25,3	25,0
Umid. Relat. (%)	88	88	88	89	90	90	90	88	87	88	87	88	88
Vento (m/s)	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	1,4	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3
Chuva (mm)	259	246	295	363	389	356	350	278	266	237	227	237	3503
n/N	0,36	0,33	0,32	0,29	0,30	0,30	0,32	0,39	0,43	0,39	0,39	0,38	0,35

Tabela I — (continuação)

MÉDIAS 1968 — 1973	Estação: MACAPÁ Lat. 0°10'N Long. 51°03'W Alt. 10m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	26,2	26,0	25,5	25,8	26,0	26,2	26,1	26,6	27,2	27,8	27,5	27,0	26,5
Umid. Relat. (%)	84	87	88	89	89	86	85	82	78	74	77	80	83
Vento (m/s)	2,6	2,1	1,9	1,7	1,5	1,6	1,8	2,1	3,0	3,3	2,8	2,7	2,3
Chuva (mm)	256	325	394	291	349	208	173	99	56	15	66	147	2379
n/N	0,46	0,40	0,29	0,31	0,38	0,54	0,77	0,75	0,77	0,78	0,73	0,57	0,56

MÉDIAS 1931 — 1960	Estação: MANAUS Lat. 3°08'S Long. 60°01'W Alt. 48m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,9	25,8	25,8	25,8	26,4	26,6	26,9	27,5	27,9	27,7	27,3	26,7	26,7
Umid. Relat. (%)	88	88	88	88	86	83	80	77	77	79	82	85	83
Vento (m/s)	2,6	2,7	2,7	2,4	2,9	2,6	3,0	2,7	3,1	2,8	2,7	2,7	2,7
Chuva (mm)	276	277	301	287	193	98	61	41	62	112	165	228	2101
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	0,48

MÉDIAS 1965 — 1973	Estação: PARI CACHOEIRA Lat. 0°10'S Long. 69°56'W Alt. 115m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,0	25,1	25,0	25,1	24,7	24,3	24,1	21,9	24,7	25,3	25,2	25,0	24,6
Umid. Relat. (%)	89	88	89	89	90	90	90	88	87	86	89	89	89
Vento (m/s)	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Chuva (mm)	260	199	323	281	403	327	359	259	187	224	171	220	3213
n/N	0,33	0,34	0,35	0,33	0,34	0,36	0,36	0,45	0,30	0,45	0,38	0,42	0,37

Tabela I — (continuação)

MÉDIAS 1961 — 1973	Estação: PARINTINS Lat. 2°38'S Long. 56°44'W Alt. 32m												
	MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura (°C)	26,8	26,3	26,3	26,3	26,4	26,7	26,7	27,5	28,0	28,4	28,0	27,4	27,1
Umid. Relat. (%)	86	87	88	89	89	87	84	81	77	76	78	82	84
Vento (m/s)	1,9	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7	1,7	2,1	2,1	1,9	1,8	1,8
Chuva (mm)	250	279	324	356	346	200	112	88	41	77	142	161	2376
n/N	0,40	0,37	0,34	0,38	0,43	0,57	0,67	0,72	0,63	0,69	0,56	0,53	0,52

MÉDIAS 1961 — 1973	Estação: PORTO VELHO Lat. 8°46'S Long. 63°55'W Alt. 105m												
	MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura (°C)	25,6	25,5	25,6	25,8	25,6	25,4	25,4	26,7	26,6	26,3	25,3	25,8	25,9
Umid. Relat. (%)	89	89	88	87	85	81	76	73	78	83	86	88	84
Vento (m/s)	1,4	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,2	1,5	1,5	1,4	1,3	1,4
Chuva (mm)	265	307	283	254	134	39	27	42	111	186	222	288	2158
n/N	0,31	0,29	0,34	0,37	0,51	0,64	0,73	0,67	0,55	0,46	0,38	0,34	0,47

MÉDIAS 1969 — 1973	Estação: RIO BRANCO Lat. 9°58'S Long. 67°52'W Alt. 136m												
	MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura (°C)	25,2	24,9	25,2	24,9	24,2	23,7	23,0	24,2	25,3	25,3	25,6	25,4	24,7
Umid. Relat. (%)	88	89	89	88	87	86	81	79	77	83	86	87	85
Vento (m/s)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	1,0	1,3	0,8	0,8	0,9	0,9
Chuva (mm)	202	252	227	175	99	31	28	48	88	154	226	236	1766
n/N	0,31	0,28	0,33	0,39	0,43	0,53	0,55	0,62	0,50	0,46	0,40	0,37	0,45

Tabela I — (continuação)

MÉDIAS 1966 — 1973	SANTA ISABEL DO												
	Estação: RIO NEGRO Lat. 0°20'S Long. 65°00'W Alt. 45m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,5	25,7	25,7	25,5	25,3	25,1	24,8	25,1	25,6	26,1	26,2	26,0	25,6
Umid. Relat. (%)	89	89	90	90	91	91	90	90	88	87	87	88	89
Vento (m/s)	1,6	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7
Chuva (mm)	211	179	282	291	306	243	199	197	168	126	180	174	2556
n/N	0,44	0,41	0,36	0,35	0,33	0,38	0,42	0,46	0,48	0,50	0,43	0,41	0,41

MÉDIAS 1931 — 1960	Estação: SANTARÉM												
	Lat. 2°25'S Long. 54°42'W Alt. 20m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,8	25,5	25,5	25,6	25,6	25,4	25,4	26,2	26,7	27,0	26,9	26,5	26,0
Umid. Relat. (%)	85	87	88	88	89	88	86	83	80	78	79	80	84
Vento (m/s)	2,0	1,7	1,7	1,6	1,5	1,7	1,8	2,4	2,9	3,1	2,8	2,4	2,1
Chuva (mm)	179	275	358	362	293	174	112	50	39	46	85	123	2096
n/N	0,38	0,31	0,29	0,34	0,39	0,49	0,57	0,57	0,61	0,61	0,52	0,50	0,47

MÉDIAS 1970 — 1973	Estação: TEFÉ												
	Lat. 3°22'S Long. 61°42'W Alt. 47m												
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Temperatura (°C)	25,4	25,9	26,1	25,9	26,1	25,6	25,7	26,1	26,4	26,9	26,5	26,2	26,1
Umid. Relat. (%)	86	86	87	87	87	88	85	83	82	81	84	85	85
Vento (m/s)	3,5	2,9	2,8	2,6	3,0	3,4	3,4	3,5	2,8	3,1	3,1	3,0	3,1
Chuva (mm)	220	213	289	299	229	166	221	102	117	128	177	160	2321
n/N	0,41	0,37	0,38	0,38	0,42	0,46	0,50	0,61	0,52	0,54	0,43	0,47	0,46

Tabela I — (continuação)

MÉDIAS 1931 — 1960	Estação: UAUPÊS												Lat. 0°08'S	Long. 67°05'W	Alt. 85m
MESES	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano		
Temperatura (°C)	25,4	25,5	25,6	25,3	25,0	24,5	24,3	24,8	25,4	25,6	25,9	25,5	25,2		
Umid. Relat. (%)	89	87	87	89	90	91	90	88	86	86	87	88	88		
Vento (m/s)	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5		
Chuva (mm)	274	250	285	267	317	250	246	195	148	173	202	305	2912		
n/N	0,43	0,46	0,43	0,40	0,41	0,41	0,44	0,50	0,55	0,51	0,50	0,46	0,46		

TABELA II — Valores do coeficiente médio mensal de ajuste (f) da evapotranspiração potencial estimada (E_T) em função da relação E_H/E_T

CIDADES	COEFICIENTES.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
BELÉM	$\frac{E_T}{m}$	4,1	3,8	3,6	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9	5,0	5,2	5,0	4,7
	$\frac{E_H}{m}$	3,6	3,5	3,3	3,4	3,6	3,8	4,0	4,3	4,4	4,5	4,3	4,0
	$f = \frac{E_H}{E_T}$	0,88	0,92	0,92	0,89	0,88	0,86	0,87	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85
MANAUS	$\frac{E_T}{m}$	3,9	3,9	3,8	3,6	3,9	4,1	4,6	5,1	5,2	5,0	4,6	4,1
	$\frac{E_H}{m}$	3,5	3,5	3,4	3,3	3,4	3,6	3,9	4,3	4,4	4,2	4,0	3,6
	$f = \frac{E_H}{E_T}$	0,90	0,90	0,89	0,92	0,87	0,88	0,85	0,84	0,85	0,84	0,87	0,88
BENJAMIN CONSTANT	$\frac{E_T}{m}$	4,1	4,1	4,0	3,6	3,2	3,1	3,1	3,6	4,2	4,4	4,3	4,1
	$\frac{E_H}{m}$	3,8	3,9	3,8	3,4	3,0	2,7	2,8	3,3	3,9	4,1	4,0	3,9
	$f = \frac{E_H}{E_T}$	0,93	0,95	0,95	0,94	0,94	0,87	0,90	0,92	0,93	0,93	0,93	0,95
MÉDIA	$f = \epsilon f/3$	0,90	0,92	0,92	0,92	0,90	0,87	0,87	0,88	0,89	0,88	0,89	0,89

TABELA III — Valores médios de evapotranspiração potencial estimado pelo método de PENMAN modificado.

CIDADES	Evapotranspiração potencial estimada (E_T) em mm/dia												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
ALTAMIRA	3,6	3,5	3,3	3,2	3,4	2,8	3,4	4,2	4,3	4,1	3,6	3,6	3,6
ALTO TAPAJÓS	3,4	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	4,4	4,2	4,4	3,9	3,6	3,8
BARCELOS	4,1	4,3	4,3	3,8	3,6	3,6	3,8	4,1	4,5	4,5	4,3	4,2	4,1
BENJAMIN CONSTANT	4,1	4,2	4,0	3,6	3,3	3,1	3,1	3,6	4,2	4,4	4,3	4,1	3,8
CARAUARI	4,2	3,8	3,8	3,3	3,2	3,4	3,5	3,9	4,2	4,2	3,7	3,5	3,7
COARI	3,7	3,9	3,6	3,3	3,5	3,6	4,0	4,4	4,6	4,4	4,2	3,9	3,9
FONTE BOA	4,0	4,1	4,0	3,8	3,5	3,4	3,4	3,8	4,3	4,3	4,2	4,1	3,9
HUMAITÁ	4,0	3,8	4,9	3,6	3,4	3,5	3,7	4,3	4,6	4,6	4,3	4,3	4,1
YAUARETÉ	3,7	3,7	3,7	3,6	3,2	3,1	3,2	3,6	4,0	3,9	3,8	3,6	3,6
MACAPÁ	4,2	4,1	3,8	3,6	3,6	4,0	4,3	4,6	5,6	5,9	5,5	4,6	4,5
MANAUS	3,9	3,9	3,8	3,6	3,9	4,1	4,6	5,1	5,2	5,0	4,6	4,1	4,3
PARI-CACHOEIRA	3,5	3,7	3,8	3,6	3,3	3,2	3,3	3,6	3,5	4,1	3,7	3,7	3,6
PARINTINS	4,1	4,0	3,9	4,0	3,7	4,1	4,5	5,1	5,2	5,5	5,0	4,5	4,5
PORTO VELHO	3,8	3,8	3,8	3,6	3,6	3,7	4,0	4,5	4,6	4,4	4,2	3,9	4,0
RIO BRANCO	3,8	3,7	3,8	3,5	3,1	3,1	3,2	3,9	4,2	4,3	4,2	4,1	3,7
SANTA ISABEL	4,0	4,0	3,9	3,7	3,3	3,4	3,5	3,8	4,2	4,4	4,1	3,5	3,8
SANTARÉM	4,0	3,7	3,7	3,7	3,5	3,7	4,0	4,4	5,0	5,2	4,7	4,4	4,2
TEFÉ	4,2	4,1	4,1	3,8	3,7	3,5	3,8	4,5	4,6	4,9	4,4	4,4	4,2
UAUPÊS	4,0	4,2	4,1	3,8	3,5	3,4	3,5	3,9	4,4	4,3	4,2	3,9	3,9
MÉDIA = 4,0													

ERRATA

No Resumo (página 215) e no Summary (página 220):

Onde lê:

... através da precipitação, $14,4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ de água por ano, sendo este total ... e uma evapotranspiração de $8,9 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{ano}$. Desde que a transpiração pelas plantas representa 61,8% do balanço hídrico.

Leia-se:

... através da precipitação, $12,0 \times 10^{12} \text{ m}^3$ de água por ano, sendo este total ... e uma evapotranspiração de $6,48 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{ano}$. Desde que a transpiração pelas plantas representa 54% da precipitação.

Summary: Where it reads:

... Amazon Basin receives $14.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ water/year ... and an evapotranspiration of $8.9 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{year}$. Since transpiration by plants represents 61.8% of the water balance.

Please read:

... Amazon Basin receives $12.0 \times 10^{12} \text{ m}^3$ water/year ... and an evapotranspiration of $6.48 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{year}$. Since transpiration by plants represents 54% of the precipitation.