

# Estimativa de evapotranspiração de floresta amazônica de terra firme (\*)

Paulo Rodolfo Leopoldo (1); Wolfram Franken (2); Eiichi Matsui (3) e Eneas Salati (3)

## Resumo

Estimou-se a taxa de evapotranspiração de Floresta Amazônica de terra firme, pelo método do balanço hídrico, aplicado a uma bacia hidrográfica, denominada de Bacia Modelo. No período de estudo, o total da precipitação foi da ordem de 2.089mm, dos quais 541mm se escoaram superficialmente, drenados pelo Igarapé Tarumã-Açu, 534mm representou a parcela correspondente à perda por interceptação devido a cobertura florestal. A taxa de transpiração média, calculada para o período em estudo foi de 2,7mm/dia, ou seja, 1.014mm, representando cerca de 48,5% do balanço hídrico, enquanto que a evapotranspiração média foi estimada em 4,1mm/dia.

## INTRODUÇÃO

A Amazônia é representada por uma região geográfica que ocupa quase todo centro oeste da América do Sul, constituindo-se no maior ecossistema florestal do mundo. Em termos de Brasil, essa região ocupa uma superfície de  $3,6 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, dos quais uma grande parcela é ocupada por floresta de terra firme.

Face às suas dimensões, bem como o que representa a região, em termos de ambiente e recursos naturais para o País, torna-se evidente que toda análise do ecossistema amazônico é de importância significativa, tendo-se por objetivo a sua exploração racional e adequada.

Dentre os aspectos a serem analisados, sem dúvida, o ciclo hidrológico é de suma importância dada a enorme quantidade de água envolvida na região, não só através dos rios como também pela massa foliar, que através do processo da transpiração atua na manutenção do equilíbrio hídrico reinante.

Nesse sentido, inúmeras pesquisas já foram desenvolvidas, nas quais se utilizaram de técnicas convencionais, isotópicas ou mesmo de outras metodologias apropriadas.

Assim Matsui *et al.* (1972) puderam determinar as vazões relativas dos rios Solimões e Negro, em relação ao rio Amazonas, partindo de medições sistemáticas das concentrações de <sup>18</sup>O dos três rios envolvidos. Salati *et al.* (1979) empregando também a técnica isotópica, verificaram que cerca de 44% da umidade advectiva deixa a Bacia Amazônica na forma de vapor, sendo que o restante é recirculado na própria bacia; cujo tempo de reciclagem é de aproximadamente 5,5 dias, conforme Marques *et al.* (1979).

Como pode ser observado, os trabalhos citados, de um modo geral se dedicaram ao estudo da Bacia Amazônica como um todo, enquanto que no presente estudo o objetivo se deteve na estimativa da evapotranspiração real que ocorre em Floresta Amazônica denominada de terra firme, a qual, como já foi ressaltado, representa uma grande parcela de toda região.

Com relação ao processo de evapotranspiração Dall'Olio (1976), baseado na composição isotópica das precipitações ao longo de toda Bacia Amazônica, pode estimar que a fração média da precipitação atribuível à evapotranspiração é da ordem de 32%, enquanto que Villa Nova *et al.* (1976), através do método de Penman adaptado para as condições de floresta, estimaram que a evapotranspiração para a Bacia Amazônica é de 4 mm/dia, em média, representando 61,8% do balanço hídrico.

Marques *et al.* (1977), e (1980) pelo método aerológico, concluíram que 52% da preci-

(\*) — Trabalho parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

(1) — Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu — UNESP-SP.

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

(3) — CENA-USP, Piracicaba-SP.

pitação que cai na Bacia Amazônica tem como origem o vapor d'água proveniente do Oceano Atlântico, sendo que os 48% restantes tem como fonte o vapor d'água oriundo na própria região, através da evapotranspiração real, cujo valor obtido para a região foi da ordem de 1.260 mm a mais. Semelhantes conclusões foram obtidas por Jordan & Heuveldop (s/d), em pesquisas conduzidas em Floresta Amazônica Venezuelana.

**MATERIAL E MÉTODO**

Na Figura 1 é visto um mapa da bacia hidrográfica, utilizada na realização do presente experimento. Essa bacia, definida como Bacia Modelo, apresenta uma área de cerca de 23,5 km<sup>2</sup> tendo como rio que a drena, o Tarumã-Açu.

No balanço hídrico dessa bacia, tomou-se por base a equação contida em Wisley & Brater (1964):

$$L = P - Q - U \pm \Delta S \dots\dots\dots (1)$$

onde L = perda total em mm;

P = precipitação total em mm;

Q = escoamento superficial em mm;

V = deflúvio efetivo da água do solo e

$\Delta S$  = variação da acumulação superficial e subterrânea

Adaptando-se a equação (1) às condições da Bacia Modelo, o balanço hídrico pode ser dado em função da seguinte expressão:

$$P = I + T + Q \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ou } T = P - I - Q \dots\dots\dots (3)$$

onde I = perda por interceptação, em mm e

T = perda por transpiração, em mm

Na equação (3) a perda por percolação profunda (U) foi considerada nula, supondo-se que toda água infiltrada no solo seja parte transpirada e parte escoada pelo igarapé. A perda por evaporação direta da água do solo também foi considerada igual a 0,0, uma vez que esse valor comparado à taxa de transpiração é desprezível (Jordan & Heuveldop, 1980) e (Villa Nova *et al.*, 1976). O termo  $\Delta S$  pode também ser desprezado, desde que o período ao qual se aplica o método seja relativamente longo ou seja da ordem de 1 ano (Omm, 1967). Assim, o termo  $\Delta S$  foi considerado

nulo, uma vez que o período para o qual se aplicou o balanço hídrico estendeu-se de 02.02.80 a 10.02.81.

Os dados de vazão do igarapé Tarumã-Açu (Q) foram obtidos junto a HIDROESB, os quais foram fornecidos na forma de altura em régua linimétrica, instalada no posto fluviográfico assinalado na Figura 1. Essas alturas foram convertidas em m<sup>3</sup>/s através das equações (4) e (5), conforme HIDROESB (1980):

$$Q = 9,073 H^2 - 19,2824 H + 11,170 \dots (4)$$

para H variando de 1,28 a 1,52 m e

$$Q = 0,967 H^2 - 0,149 H - 0,041$$

para H variando de 0,65 a 1,28 m.

Nessas equações H representa a altura do nível d'água do igarapé lidá em m, na régua e Q, a vazão junto à saída da bacia, em m<sup>3</sup>/s. A vazão obtida em m<sup>3</sup>/s foi transformada em mm, empregando-se a superfície da bacia como sendo da ordem de 23,5 km<sup>2</sup>.

Os valores de P e I foram calculados em função dos dados obtidos através de 3 pluviômetros localizados à céu aberto e instalados

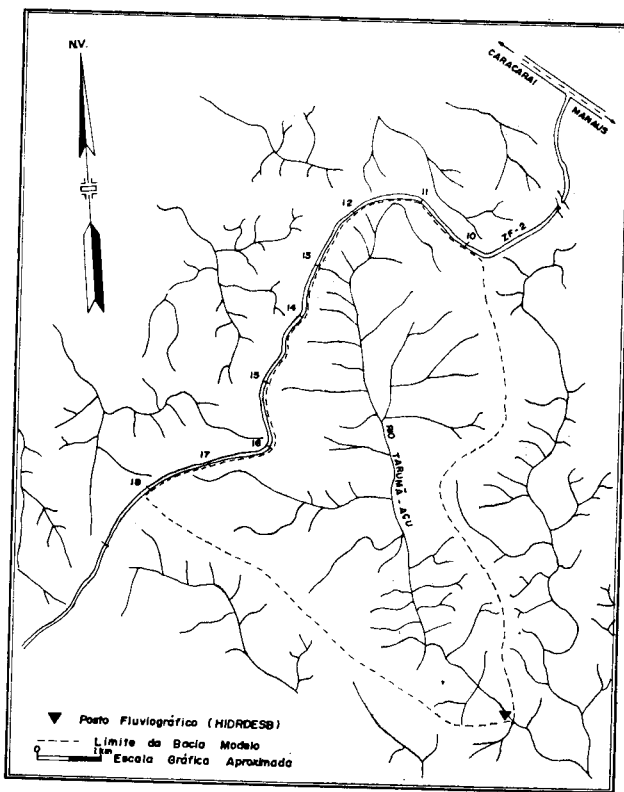


Fig. 1 — Mapa da Bacia Modelo.

junto ao km-14 da ZF-2, 30 pluviômetros instalados no interior da floresta e sistemas coletores de água escoada pelo tronco das árvores.

## RESULTADOS

Na Tabela 1 tem-se os dados do balanço hídrico da Bacia Modelo, calculados para o período que se fez referência. Não foi possível

agrupá-los em função dos meses do ano, uma vez que os dias de amostragens nem sempre coincidiram com o último dia do mês ou início de cada mês.

A Tabela 2 mostra os resultados apresentados na Tabela 1, calculados na forma de percentuais em relação a precipitação total tomada como sendo 100%, enquanto que na Tabela 3 tem-se esses valores em milímetros de altura d'água por dia.

**TABELA 1 — Resultados do balanço hídrico da Bacia Modelo.**

Período	N.º Dias	Precip. (P) mm	Interc. (I) mm	Escoam. Sup. (Q) mm	Transp. (T) mm	Evapotransp.* mm
02/02/80-01/03/80	29	147,0	45,2	52,1	49,7	94,9
02/03/80-02/04/80	32	206,0	67,5	53,1	85,4	152,9
03/04/80-09/05/80	37	302,3	81,1	69,6	151,6	232,7
10/05/80-03/06/80	25	157,0	44,6	39,4	73,0	117,6
04/06/80-04/07/80	31	153,3	42,7	42,3	68,3	111,0
05/07/80-01/08/80	28	61,6	16,6	35,6	9,4	26,0
02/08/80-03/09/80	33	90,2	18,8	36,1	35,3	54,1
04/09/80-01/10/80	28	79,5	18,4	28,2	32,9	51,3
02/10/80-06/11/80	36	129,5	33,6	39,6	56,3	89,9
07/11/80-11/12/80	35	226,0	61,2	49,5	115,3	176,5
12/12/80-15/01/81	35	301,5	59,4	51,3	190,8	250,2
16/01/81-10/02/81	26	235,0	44,8	44,0	146,2	191,0
<b>Total</b>	<b>375</b>	<b>2088,9</b>	<b>533,9</b>	<b>540,7</b>	<b>1014,3</b>	<b>1548,2</b>

(\*) — Evapotranspiração = interceptação + transpiração.

**TABELA 2 — Valores percentuais do balanço hídrico da Bacia Modelo.**

Período	Precip. (P) %	Intercep. (I) %	Escoam. (Q) %	Transp. (T) %	Evapotransp. %
02/02/80-01/03/80	100	30,8	35,4	33,8	64,6
02/03/80-02/04/80	100	32,7	25,8	41,5	74,2
03/04/80-09/05/80	100	26,8	23,0	50,2	77,0
10/05/80-03/06/80	100	28,4	25,1	46,5	74,9
04/06/80-04/07/80	100	27,8	27,6	44,6	72,4
05/07/80-01/08/80	100	26,9	57,8	15,3	42,2
02/08/80-03/09/80	100	20,8	40,0	39,2	60,0
04/09/80-01/10/80	100	23,1	35,5	41,4	64,5
02/10/80-06/11/80	100	25,9	30,6	43,5	69,4
07/11/80-11/12/80	100	27,1	21,9	51,0	78,1
12/12/80-15/01/81	100	19,7	17,0	63,3	83,0
16/01/81-10/02/81	100	19,1	18,7	62,2	81,3
<b>Percentual Médio</b>	<b>100%</b>	<b>25,6%</b>	<b>25,9%</b>	<b>48,5%</b>	<b>74,1%</b>

TABELA 3 — Valores médios, em mm/dia, obtidos no balanço hídrico da Bacia Modelo.

Período	Precip. mm/dia	Intercep. mm/dia	Escoam. mm/dia	Transp. mm/dia	Evapotransp. mm/dia
02/02/80-01/03/80	5,1	1,6	1,8	1,7	3,3
02/03/80-02/04/80	6,4	2,1	1,7	2,7	4,8
03/04/80-09/05/80	8,2	2,2	1,9	4,1	6,3
10/05/80-03/06/80	6,3	1,8	1,6	2,9	4,7
04/06/80-04/07/80	4,9	1,4	1,4	2,2	3,6
05/07/80-01/08/80	2,2	0,6	1,3	0,3	0,9
02/08/80-03/09/80	2,7	0,6	1,1	1,1	1,7
04/09/80-01/10/80	2,8	0,7	1,0	1,2	1,9
02/10/80-06/11/80	3,6	0,9	1,1	1,6	2,5
07/11/80-11/12/80	6,4	1,7	1,4	3,3	5,0
12/12/80-15/01/81	8,6	1,7	1,5	5,5	7,2
16/01/81-10/02/81	9,0	1,7	1,7	5,6	7,3
Média (mm/dia)	5,6	1,4	1,4	2,7	4,1

Na Figura 2 são representadas as curvas de regressão e respectivas equações, para os valores da transpiração e evapotranspiração em função dos valores observados para a precipitação total. Segundo os valores encontrados para  $r^2$  das duas equações tem-se que 99,27% do valor obtido para evapotranspiração é 93,67% para a transpiração são explicados pelo fator quantidade de chuva total.

## DISCUSSÃO

Pode ser observado pela Tabela 1 que para uma precipitação total de 2.088,9 mm ocorrida no período de 02/02/80 a 10/02/81, 533,9 mm foram interceptados pela cobertura vegetal, 540,7 mm se escoaram através do igarapé Tarumã-Açu, enquanto que 1.014,3 mm foram transpirados pela vegetação. A perda por evapotranspiração, considerada como sendo a soma da transpiração e interceptação, foi da ordem de 1.548,2 mm segundo cálculos efetuados de acordo com a equação (3).

O valor de 120 mm anuais para a evapotranspiração, obtido por Marques *et al.* (1980) representa um valor médio para toda Bacia Amazônica, envolvendo vários tipos de cobertura florestal e diferentes índices pluviométricos.

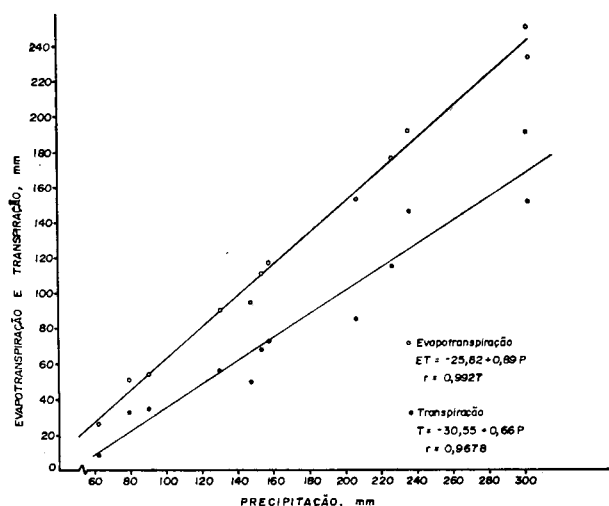


Fig. 2 — Curva de regressão para os valores da evapotranspiração e transpiração em função dos valores observados para a precipitação total.

Acredita-se que os resultados do presente trabalho podem ser considerados superestimados quando comparados com aqueles publicados pelos referidos autores, mas por outro lado adquirem representatividade para as regiões com características semelhantes àquelas do local de estudo, ou seja floresta de terra firme.

Por outro lado, os dados obtidos por Villa Nova *et al.* (1976) estão muito próximos daqueles apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Para a região de Manaus, Villa Nova *et al.* (1976) apresentaram um valor de 4,3 mm/dia como taxa representativa da evapotranspiração real, valor este que envolve uma perda anual, de 1.569,5 mm. Esses autores admitem ainda que a evapotranspiração potencial esteja próxima da real, dado o aspecto sempre verde e em constante crescimento vegetativo de reposição da floresta, e que a evapotranspiração potencial atinge a cerca de 73% da precipitação. Acreditam, os autores, que a situação pode ser diferente nas regiões denominadas de "cerrados", onde a evapotranspiração real é menor que a potencial.

Através do balanço hídrico aplicado à Bacia Modelo a taxa média correspondente à evapotranspiração real foi da ordem de 4,1 mm/dia, representando uma perda total anual de 1.496,5 mm pelo processo da evapotranspiração, e sua parcela correspondente à precipitação foi da ordem de 74,1%, conforme Tabela 2. Observa-se, portanto, que os valores obtidos pelo balanço hídrico não apresenta diferenças significativas em relação aos resultados de Villa Nova *et al.* (1976), obtidos através do método de Penman adaptado às condições de floresta.

Pela Figura 2 vê-se que foi obtida uma correlação significativa entre os valores de evapotranspiração e transpiração com os valores da quantidade de chuva total, sendo os processos em questão, praticamente, explicado em quase sua totalidade pelo total de água precipitada.

Com relação à transpiração, o resultado médio de 48,5% da precipitação encontra-se próximo daquele obtido por Jordan & Heuvel-dop (1980), pois como já se comentou esses autores conduziram suas pesquisas em floresta amazônica venezuelana, obtendo para a transpiração um valor médio de 47% da precipitação local, utilizando-se de tanque classe A.

Como pode ser observado a interceptação e transpiração envolvem uma quantidade de água extremamente grande, quando comparada a outras regiões do globo. Essa massa de água que volta à atmosfera na forma de vapor, apresenta altas taxas de recirculação, confor-

me Salati *et al.* (1979) e Lettau *et al.* (1979), desempenhando um papel fundamental na manutenção do equilíbrio hídrico da região amazônica.

Ressalta-se que, pelo método utilizado no cálculo da evapotranspiração, todo erro cometido na determinação dos demais parâmetros são acumulados e recaem na determinação da própria evapotranspiração, podendo superestimar esse valor. No entanto, aplicado com os relativos cuidados ele oferece uma estimativa razoável do parâmetro a ser determinado, de acordo com análise feita pela Omm (1967).

No presente caso, a curva de calibração da secção de medição de vazão, ou seja a curva que relaciona a vazão em função da altura do nível de água do igarapé, não se apresenta com bom ajuste, conforme pode ser visto nos relatórios da HIDROESB (1980). Outro detalhe é a necessidade de um levantamento geológico da bacia em estudo, com o objetivo de se verificar se não ocorrem perdas profundas, ou mesmo perdas por escoamento paralelo ao leito do igarapé, dada a constituição arenosa do mesmo, embora Reichardt *et al.* (1980) admitem que o problema da baixa retenção de água pelos solos da região, aliado às características das chuvas, tendem a restringir as percolações em favor do deflúvio ou escoamento superficial.

Desse modo, levando-se em consideração as observações feitas pela Omm (1967) e Reichardt *et al.* (1980), bem como o período de um ano para o qual se aplicou a equação (3), pode se justificar o valor zero atribuído ao termo  $\Delta S$  daquela equação.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP, CNPq e a CNEN, bem como a Dra. Maria de Nazaré G. Ribeiro pelo apoio dado à realização deste trabalho.

#### SUMMARY

Evapotranspiration rate from "Terra firme" Amazon Forest were evaluated by hydric balance method, in a standard basin. The total rainfall in the period were 2,089mm being 541mm drained by Tarumã-Açu igarapé by

run-off and 534mm intercepted by forest canopy. The average of transpiration rate was 2,7mm/day, or 1,014mm in the period, 48,5% of hydric balance. The evapotranspiration rate was estimated in 4,1mm/day.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DALL'OLIO, A.

1976 — A composição isotópica das precipitações do Brasil: modelos isotérmicos e a influência da evapotranspiração na Bacia Amazônica. Dissertação de Mestrado, ESALQ-USP, Piracicaba. 180p.

HIDROESB

1980 — **Relatórios**. Rio de Janeiro, Brasil.

JORDAN, C.F. & HEUVELDOP, J.

s/d. — **The water bridget of an Amazonia rain forest**. (a ser publicado).

LETTAU, H.; LETTAU, K.; MOLION, L.C.B.

1979 — Amazonia's hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. **Monthly Weather Review**, 107 (3): 227-238.

MARQUES, J.; SANTOS, J.M. dos; SALATI, E.

1979 — O armazenamento atmosférico de vapor d'água sobre a região Amazônica. **Acta Amazonica**, 9 (4): 715-721.

MARQUES, J.; SANTOS, J.M. dos; VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E.

1977 — Precipitable water and water vapour flux between Belem and Manaus. **Acta Amazonica**, 7 (3): 355-363.

MARQUES, J.; SALATI, E.; SANTOS, J.M. dos

1980 — Cálculo da evapotranspiração real na Bacia Amazônica através do método aerológico. **Acta Amazonica**, 10 (2): 357-361.

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.

OMM

1967 — Guia de práticas hidrometeorológicas. **Publicação OMM**, n.º 168 TP. 82. Genebra, Suíça.

REICHARDT, K.; RANZANI, G.; FREITAS JR., E. de; LIBARDI, P.L.

1980 — Aspectos hídricos de alguns solos da Amazônia — Região Baixo Rio Negro. **Acta Amazonica**, 10 (1): 33-36.

SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J.

1979 — Recycling of water in the Amazon Basin: an isotopic study. **Water Resources Research**, 15 (5): 1250-1258.

VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E.; MATSUI, E.

1976 — Estimativa de evapotranspiração na Bacia Amazônica. **Acta Amazonica**, 6 (2): 215-228.

WISLER, C.O. & BRATER, E.F.

1964 — **Hidrologia**. Trad. Leonino Jr. Rio de Janeiro, Centro de Publicações Técnicas da Aliança, USAID. 484p.

(Aceito para publicação em 17/02/82)