

Métodos de Estimativa da ETP (ou ETo)

1) Método de Thornthwaite – Original

$$ETP = ETp * COR \text{ (mm/mês)}$$

Para T_m entre 0 e 26,5°C

$$ETp = 16 (10 T/I)^a$$

$$I = 12 (0,2 T_a)^{1,514}$$

$$a = 0,49239 + 1,79 \cdot 10^{-2} * I - 7,71 \cdot 10^{-5} * I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} * I^3$$

Para $T_m > 26,5^\circ\text{C}$

$$ETp = -415,85 + 32,24 * T - 0,43 * T^2$$

$$COR = (N/12) * (NDP/30)$$

sendo: T a temperatura média do período $[(T_{max} + T_{min})/2]$; T_a a temperatura média anual normal. A tabela a seguir apresenta os valores de COR para diferentes latitudes no hemisfério sul, considerando-se o fotoperíodo (N) do 15º dia de cada mês:

Lat S	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23

2) Método de Thornthwaite – Temperatura efetiva (Carmargo et al., 1999)

Idem ao método original de Thornthwaite, porém empregando-se a Temperatura efetiva (Tef) no lugar da temperatura média. As demais variáveis permanecem exatamente as mesmas, inclusive “I” e “a”. A temperatura efetiva é determinada em função das temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), da seguinte forma:

$$Tef = 0,36 (3 * Tmax - Tmin)$$

3) Método de Hargreaves & Samani

$$ETP = 0,0023 * Q_o * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * (T + 17,8) \text{ (mm/dia)}$$

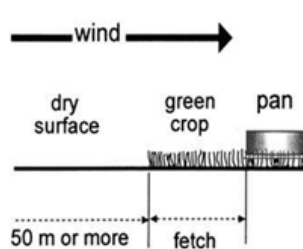
sendo: Q_o a irradiância solar global no topo da atmosfera (mm/dia), como mostra a tabela abaixo para diferentes latitudes do hemisfério sul, no 15º dia de cada mês:

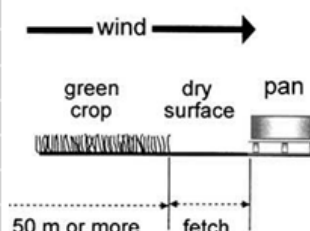
Lat S	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2	14,8	15,2	15,2	14,5	13,6	13,0	13,2	14,0	14,8	15,0	14,8	14,6
4	15,0	15,3	15,1	14,3	13,3	12,7	12,8	13,7	14,7	15,1	15,0	14,9
6	15,3	15,4	15,1	14,1	13,0	12,6	12,5	13,5	14,6	15,1	15,2	15,1
8	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,4
10	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0
14	16,3	15,8	14,9	13,2	11,6	10,8	11,1	12,4	14,0	15,3	15,9	16,2
16	16,5	15,9	14,8	13,0	11,3	10,4	10,8	12,1	13,8	15,3	16,1	16,4
18	16,7	15,9	14,7	12,7	10,9	10,0	10,4	11,8	13,7	15,3	16,2	16,7
20	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	9,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,2	16,8
22	16,9	16,0	14,3	12,0	10,2	9,1	9,6	11,1	13,1	15,2	16,4	17,0
24	16,9	15,9	14,1	11,7	9,8	8,6	9,1	10,7	13,1	15,1	16,5	17,1
26	17,0	15,9	13,9	11,4	9,4	8,1	8,7	10,4	12,8	15,0	16,5	17,3
28	17,1	15,8	13,7	11,1	9,0	7,8	8,3	10,0	12,6	14,9	16,6	17,5
30	17,2	15,7	13,5	10,8	8,5	7,4	7,8	9,6	12,2	14,7	16,7	17,6

4) Método do Tanque Classe A

$$ETP = ECA * Kp \text{ (mm/dia)}$$

sendo Kp o coeficiente de conversão da evaporação do tanque classe A em ETP. Kp é função da velocidade do vento (U), da umidade relativa do ar (UR) e do tamanho da extensão da área de bordadura em torno do tanque (B). Os valores de Kp podem ser determinados por meio de tabelas ou equações, como observa-se a seguir:

Case A		Vento (km/d)			Bordadura			UR		
										
		<40%			40 a 70%			>70%		
		Leve			1			0,55		
		<175			10			0,65		
					100			0,70		
					1000			0,75		
		Moderado			1			0,50		
		(175 a 425)			10			0,60		
					100			0,65		
					1000			0,70		
		Vento (km/d)			Bordadura			UR		
		<40%			40 a 70%			>70%		
		Leve			1			0,70		
		<175			10			0,60		
					100			0,55		
					1000			0,50		
		Moderado			1			0,65		
		(175 a 425)			10			0,55		
					100			0,50		
					1000			0,45		

Case B		Vento (km/d)			Bordadura			UR		
		<40%			40 a 70%			>70%		
		Leve			1			0,80		
		<175			10			0,70		
					100			0,65		
					1000			0,60		
		Moderado			1			0,75		
		(175 a 425)			10			0,65		
					100			0,60		
					1000			0,55		

Para tornar a determinação de Kp automática Snyder et. al. (1992), propôs a seguinte equação de Kp:

$$Kp = 0,482 + 0,024 \ln B - 0,000376 U + 0,0045 UR$$

Além disso, o Kp pode ser determinado pelo critério prático:

- clima úmido: Kp = 0,70 a 0,80
- clima seco: Kp = 0,60 a 0,70

5) Método de Priestley-Taylor

$$ETP = 1,26 W (R_n - G) / \lambda \text{ (mm/dia)}$$

Determinação de W:

Para T_{med} entre 0 e 16°C => W = 0,407 + 0,0145 T

Para T_{med} > 16°C => W = 0,483 + 0,0100 T

R_n = saldo de radiação (MJ/m²dia)

G = Fluxo de calor no solo (MJ/m²dia) – para períodos diários G = 0

λ = calor latente de vaporização = 2,45 MJ/kg

6) Método de Penman-Monteith (Padrão FAO)

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Essa equação após parametrizada, ou seja, ajustada para uma série de condições de contorno, se torna:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)}$$

$$\Delta = (4098 e_s) / (237,3 + T)^2$$

$$e_s = (e_s^{T_{max}} + e_s^{T_{min}}) / 2$$

$$e_s^T = 0,611 * 10^{[(7,5 * T) / (237,3 + T)]}$$

$$e_a = (UR_{med} * e_s) / 100$$

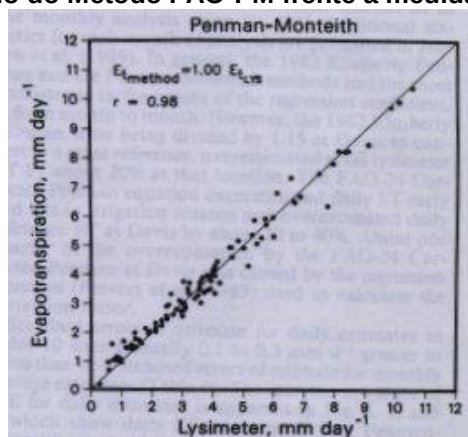
$$UR_{med} = (UR_{max} + UR_{min}) / 2$$

$$T = (T_{max} + T_{min}) / 2$$

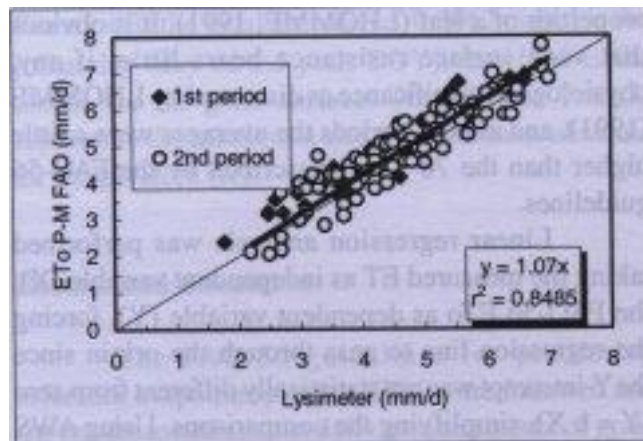
u₂ = velocidade do vento a 2 m de altura

$$\gamma = 0,063 \text{ KPa/}^\circ\text{C}$$

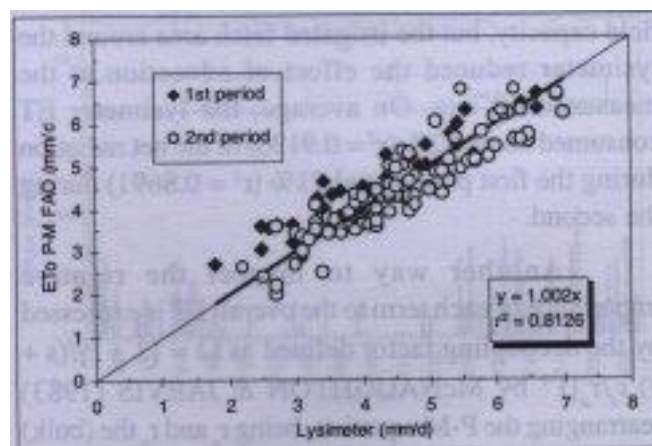
Desempenho do Método FAO-PM frente a medidas com lisímetros



EUA



Piracicaba – Dados estação automática



Piracicaba – Dados estação convencional

Crítérios para Escolha de um Método de Estimativa da ETP

A escolha de um método de estimativa para um determinado estudo deverá ser baseada nos seguintes aspectos:

- Disponibilidade de dados meteorológicos – este aspecto define o tipo de método que poderá ser empregado em determinado local. Os métodos empíricos que usam a temperatura do ar são os mais empregados, em função da temperatura ser uma variável facilmente disponível. Já o método de Penman-Monteith tem sua aplicação restrita às localidades que dispõe de todas as variáveis meteorológicas
- Condição climática do local – este aspecto deve ser considerado quando se optar pelos métodos empíricos já que normalmente esses tem sua aplicação restrita para climas secos ou climas úmidos. Já os métodos de Penman-Monteith, Priestley-Taylor e tanque Classe A tem aplicação mais universal.
- Escala temporal das estimativas – o método de Thornthwaite foi concebido para estimativas mensais, não tendo sensibilidade para estimativas diárias. Por outro lado, os métodos físicos e o do tanque Classe A se aplicam bem à escala diária.