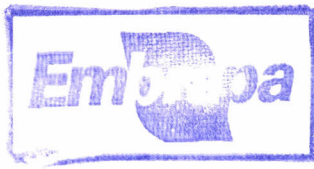


Fol  
02156

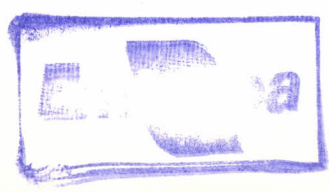


EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Malaquias da Silva Amorim Neto<sup>1/</sup>

---

1/ Meteorologista, M.Sc. EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), BR 428, km 152, Caixa Postal 23, CEP 56300 - Petrolina, PE.



34345



## INTRODUÇÃO

O conhecimento dos parâmetros climáticos evaporação e evapotranspiração é de fundamental importância para os que lidam com irrigação, climatologia, hidrologia e recursos hídricos em geral. Haja visto que fornecem informações das perdas de água para a atmosfera pelas superfícies livres d'água e pelos sistemas solo-planta.

Os principais elementos meteorológicos que contribuem para a ocorrência destes parâmetros são a radiação solar global, umidade relativa e velocidade do vento. Alguns estudos quantificando a importância destes elementos, indicam ser da ordem de 80:6:14 respectivamente. Outros trabalhos demonstram que em condições de "oásis" a advecção poderia contribuir no processo evaporativo com energia maior que a radiação líquida disponível.

Esta publicação tem por objetivo dar algumas informações básicas para aqueles que trabalham com irrigação, solucionarem seus problemas de estimativa de demanda d'água das culturas por via climatológica em função de sua disponibilidade de dados meteorológicos. Os métodos aqui utilizados são aqueles estudados por Amorim Neto et al. (1985) comparando estimativas com medidas de ETP realizadas em evapotranspirômetro tipo Thornthwaite de lençol freático constante.

## DEFINIÇÕES

Evaporação (E): Perda d'água para atmosfera na forma de vapor das superfícies livres d'água e do solo.

Transpiração (T): Transferência para atmosfera da água retirada do solo pelas raízes das plantas, através dos estômatos e cutícula.

Evapotranspiração (ET): Transferência d'água para atmosfera resultante da evaporação do solo, mais a transpiração das plantas.

Evapotranspiração Potencial (ETP): A evapotranspiração potencial ou evapotranspiração de referência é definida como a evapotranspiração que ocorre em uma superfície vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum*), bem provida de umidade em fase de desenvolvimento vegetativo e com bordadura adequada.

Evapotranspiração Máxima (ETM): A evapotranspiração máxima ou demanda ideal, refere-se a perda d'água por uma cultura em condições ótimas de umidade em qualquer estágio de desenvolvimento.

Evapotranspiração Real (ETR): Demanda d'água de uma cultura com ou sem restrições de umidade, em qualquer estágio de desenvolvimento.

#### INSTRUMENTOS DE MEDIDA

A medida da evaporação é realizada através de duas classes de instrumentos denominados atmômetros e evaporímetros.

O principal atmômetro utilizado é o "Evaporímetro de Piche", que tem as seguintes características: tubo de vidro normalmente de 22,5 cm de comprimento com uma <sup>ex</sup>estremidade fechada, diâmetro interno de 11 mm e o externo de 14 mm. O tubo é graduado em  $\text{cm}^3$  ou  $\text{mm}^3$  e a altura d'água evaporada é lida diretamente. Na extremidade aberta do tubo é ajustado um disco de papel poroso com 3,2 cm de diâmetro, dando uma superfície evaporante total de  $13 \text{ cm}^2$ . Esse instrumento é instalado dentro do abrigo da estação meteorológica.

O evaporímetro mais utilizado para medida de evaporação é o tanque Classe "A", cujas características são as seguintes: recipiente circular de 1,21 m de diâmetro e 0,254 m de profundidade construído normalmente de chapa gal-

vanizada nº 22. É montado sobre um estrado de madeira de 0,10 x <sup>0,05</sup>0,5 x 1,24 m nivelado sobre o terreno. O tanque é cheio de água até 5,0 cm da borda superior. O nível mínimo de medida permitido é de 7,5 cm a partir da borda, ou seja, a cada 2,5 cm (25mm) de evaporação devemos restaurar o volume. A variação de nível é medida com auxílio de um micrômetro, (ponta de medida tipo gancho) assentado em cima de um poço tranquilizador devidamente nivelado.

Para medida de evapotranspiração os instrumentos utilizados são os lisímetros e evapotranspirômetros.

O lisímetro mais adequado para medida de evapotranspiração é o de balança. Este equipamento é composto de tanques cheios de solo, vegetados, suportados por um mecanismo de balança que permite a verificação da variação de peso em qualquer intervalo de tempo. No entanto a principal desvantagem para o uso deste instrumento é o custo de implantação e sua operação, por ser alto e necessitar de técnicos qualificados para operar.

O outro equipamento utilizado na medida de evapotranspiração é o evapotranspirômetro tipo Thornthwaite de lençol freático constante. Este equipamento é composto de tanques cheios de solo, vegetado com um lençol freático constante. O nível do lençol é mantido em função de um tanque intermediário constituído de bóia e dreno, sendo as leituras efetuadas em um tubo milimetrado de leitura direta acoplado ao tanque abastecedor.

#### MÉTODOS DE ESTIMATIVAS

Para determinação da demanda hídrica das culturas, geralmente usa-se evapotranspiração potencial (ETP), medida ou estimada como referência.

Em estudos desenvolvidos no Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA),

onde analisou-se a validade dos métodos mais usuais para as regiões semi-áridas, conclui-se que os mais adequados para serem utilizados no período de dez dias são os de Benavides & Lopéz, Linacre, Tanque Classe "A", Penman e Radiação Solar. A descrição destes métodos com um exemplo de aplicação será dada a seguir.

#### 1- MÉTODO DE BENAVIDES & LOPÉZ:

O método de Benavides & Lopéz relaciona temperatura do ar e umidade relativa com evapotranspiração potencial, tendo a seguinte fórmula:

$$ETP = 1,21 \times 10^{\frac{7,45 T}{234,7 + T}} \times (1 - 0,01 UR) + 0,21 T - 2,30$$

onde:

ETP = evapotranspiração potencial (mm/dia)

T = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

UR = umidade relativa (%).

Ex.: Estimar a evapotranspiração potencial para o período de 10 dias, considerando a seguinte situação: temperatura média do ar no período  $28,5^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa média no ar no período 57%.

SOLUÇÃO:

$$ETP = 1,21 \times 10^{\frac{7,45 T}{234,7 + T}} \times (1 - 0,01 UR) + 0,21 T - 2,30$$

onde:

T =  $28,5^{\circ}\text{C}$

UR = 57%.

$$1^{\circ}) \frac{7,45 T}{234,7 + T} = \frac{7,45 \times 28,5}{234,7 + 28,5} = \frac{212,33}{263,20} = 0,81$$

$$2^{\circ}) (1 - 0,01 UR) = 1 - 0,01 \times 57 = 0,43$$

$$3^{\circ}) 0,21 T = 0,21 \times 28,5 = 5,99$$

$$ETP = 1,21 \times 10^{0,81} \times 0,43 + 5,99 - 2,30$$

$$ETP = 7,05 \text{ mm/dia}$$

Em 10 dias ETP = 10 x 7,05 mm.

## 2- MÉTODO DE LINACRE:

Este método de estimativa de ETP requer as coordenadas geográficas, latitude e altitude, temperatura média do ar e temperatura do ponto de orvalho.

A ETP é dada pela seguinte fórmula:

$$ETP = \frac{\frac{500 T_m}{100 - \text{lat}} + 15 (T - T_d)}{80 - T}, \text{ onde:}$$

ETP= evapotranspiração potencial (mm/dia)

$T_m = T + 0,006 h$  - equivalente ao nível do mar da temperatura do ar, onde:

T= temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

h= altitude (m)

$T_d$ = temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ) - Tabela 1

lat= latitude em graus.

Ex.: Estimar a ETP para o período de 10 dias utilizando os dados da Estação Meteorológica de Mandacaru no município de Juazeiro, BA, cujas coordenadas geográficas são latitude  $09^{\circ}24'S$ , longitude  $40^{\circ}26'W$  e altitude 375,5m.

As informações obtidas foram: temperatura média do ar  $25,8^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa do ar 74%.

SOLUÇÃO:

$$\text{ETP} = \frac{\frac{500 T_m}{100 - \text{lat}} + 15 (T - T_d)}{80 - T}, \text{ onde:}$$

$$\text{lat} = 09^{\circ} 24' = 9,40$$

$$h = 375,5 \text{ m}$$

$$T = 25,8^{\circ}\text{C}$$

$$\text{UR} = 74\%$$

$$1) T_m = T + 0,006 h$$

$$T_m = 25,8 + 0,006 \times 375,5 = 28,0$$

2)  $T_d$  = Obtém-se na Tabela I, entrando na coluna  $t$  com o valor de  $T=25,8^{\circ}\text{C}$  arredondando para  $26^{\circ}\text{C}$  e a  $\text{UR} = 74\%$  aproximadamente para  $75\%$ , então  $T_d = 21,0^{\circ}\text{C}$ .

$$3) \frac{500 T_m}{100 - \text{lat}} = \frac{500 \times 28,0}{100 - 9,4} = \frac{14.000}{90,6} = 154,53$$

$$4) (T - T_d) = 25,8 - 21,0 = 4,8$$

$$\text{ETP} = \frac{154,53 + 15 \times 4,8}{80 - 25,8} = \frac{226,53}{54,2} = 4,18$$

$$\text{ETP} = 4,18 \text{ mm/dia}$$

$$\text{Em 10 dias ETP} = 4,18 \times 10 = 41,8 \text{ mm.}$$

### 3- MÉTODO DO TANQUE CLASSE "A":

A evapotranspiração potencial estimada em função do Tanque Classe "A" é expressa por:

$$\text{ETP} = K_p \times \text{ECA}, \text{ onde:}$$

ETP= evapotranspiração potencial (mm/período)

Kp= "coeficiente de tanque", função da velocidade média do vento a 2,0m, umidade relativa média do ar e tipo de exposição do tanque(Tabela 2)

ECA= evaporação no Tanque Classe "A" (mm/período)

Ex.: Calcular a ETP para período de 10 dias considerando-se a ECA=59,8 mm/período, umidade relativa média no período 71% e velocidade média do vento a 2,0 m, 142,7 km/dia. O Tanque Classe "A" onde foi obtido ECA está colocado em uma área gramada com 10 m de bordadura.

SOLUÇÃO:

$$ETP = Kp \cdot ECA$$

$$ECA= 59,8 \text{ mm}$$

$$UR= 71\%$$

$$Vv= 142,7 \text{ km/dia}$$

Bordadura = 10 m (solo gramado).

1) Na Tabela 2 com UR=71%, Vv= 142,7 km/dia e bordadura de 10 m o  $Kp = 0,85$ .

$$ETP = 0,85 \times 59,8$$

$$ETP = 50,8 \text{ mm/10 dias.}$$

#### 4- MÉTODO DE PENAMN:

A estimativa da ETP por este método é dada pela seguinte fórmula:

$$ETP = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}, \text{ sendo:}$$



$$H = RA \left(0,24 + 0,58 \frac{n}{N}\right) (1 - a) - \sigma T_a^4 \left(0,56 - 0,09 \sqrt{e}\right) \left(0,1 + 0,9 \frac{V}{160}\right)$$

$$E_a = 0,35 \left(1 + \frac{V}{160}\right) (e_s - e), \text{ onde os termos significam:}$$

$\Delta/\gamma$  = fator adimensional dependente da temperatura média do ar no período  
(Tabela 3)

H = balanço de energia radiante (mm/período)

$E_a$  = poder evaporante do ar à sombra (mm/período)

RA = radiação extra-terrestre, função do mês e latitude (Tabela 4)

$n/N$  = razão de insolação média do período, sendo N o número máximo possível de horas de brilho solar obtido em função de latitude e mês (Tabela 5)

a = poder refletor ( $a=0,25$ )

$\sigma$  = constante de Stefan Boltzman ( $0,807 \times 10^{-10} \text{ cal.cm}^{-2} \text{ mm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$ )

$T_a$  = temperatura média do ar no período considerado ( $^\circ\text{K}$ )

e = valor médio da pressão de vapor (mm/período)

$e_s$  = tensão de saturação à temperatura média do ar no período (mmdeHg)  
(Tabela 6)

V = velocidade média do vento a 2,0 m no período (km/dia)

Ex.: Estimar a evapotranspiração potencial para o período de 10 dias utilizando as informações meteorológicas da Estação de Mandacaru, cujas coordenadas geográficas são: latitude  $09^\circ 24' \text{S}$ , longitude  $40^\circ 26' \text{W}$  e altitude 375,5 m. Os dados obtidos foram: temperatura média do ar  $25,9^\circ \text{C}$ , insolação 4,3 h, umidade relativa do ar 74% e velocidade do vento a 2,0 m 123,6 km/dia. Essas informações foram obtidas no mês de fevereiro.

SOLUÇÃO:

$$ETP = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

lat= 09°24'S

t= 25,9°C

n= 4,3 h

UR= 74%

V= 123,6 km/dia

mês= fevereiro

1)  $\Delta/\gamma$ , obtém-se na Tabela 3, arredondando-se  $T=25,9^\circ\text{C}$  para  $26^\circ\text{C}$ , logo  
 $\Delta/\gamma= 3,0$

2)  $H = RA (0,24 + 0,58 n/N) (1-a) - \sigma Ta^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e}) (0,1+0,9 n/N)$

2.1- RA, obtém-se na Tabela 4 em função do mês (fevereiro) e latitude (09°09'S) interpolando-se logo RA=16,2.

2.2-  $(0,24+0,58 n/N) = 0,24 + 0,58 \times 4,3/12,3 = 0,44$

N=12,3 foi obtido na Tabela 5 em função da latitude e mês.

2.3-  $(1 - a) = 1 - 0,25 = 0,75$

2.4-  $\sigma Ta^4$ , onde  $Ta = T + 273,15 = 25,9 + 273,15 = 299,05$   
 $\sigma Ta^4 = 0,807 \times 10^{-10} \times 299,05^4 = 0,65.$

2.5-  $(0,56 - 0,09 \sqrt{e})$ , onde  $e = UR \times e_s/100$   $e = 74 \times 25,06/100 = 18,54$   
 $e_s = 25,06$  foi obtido na Tabela 6, em função de T.  
 $0,56 - 0,09 \sqrt{e} = 0,56 - 0,09 \sqrt{18,54} = 0,17.$

2.6-  $(0,1 + 0,9 n/N) = 0,1 + 0,9 \times 4,3/12,3 = 0,41.$

N= ídem 2.2-

$$H = 16,2 \times 0,44 \times 0,75 - 0,65 \times 0,17 \times 0,41$$

$$H = 5,35 - 0,05 = 5,30.$$

$$3) E_a = 0,35 (1 + V/160) (e_s - e)$$

$$3.1- (1 + V/160) = 1 + 123,6/160 = 1,77$$

$$3.2- (e_s - e) = 25,06 - 18,54 = 6,52.$$

Os valores de  $e_s$  e  $e$  são obtidos em 2.5

$$E_a = 0,35 \times 1,77 \times 6,52 = 4,04.$$

$$ETP = 3,0 \times 5,30 + 4,04/3,0 + 1 = 4,99 \text{ mm/dia}$$

$$\text{Em 10 dias, } ETP = 10 \times 4,99 = 49,9 \text{ mm.}$$

#### 5- MÉTODO DA RADIAÇÃO SOLAR:

A estimativa de evapotranspiração potencial pelo método da radiação solar, consiste na resolução das equações:

$$ETP = C.W.RS$$

$$RS = RA (0,24 + 0,58 n/N), \text{ onde:}$$

ETP= evapotranspiração potencial (mm/período)

C= fator de ajuste dependente da velocidade do vento e umidade relativa do ar no período, obtido graficamente (Fig. 1)

W= fator de ajuste dependente da temperatura média do ar e altitude (Tabela 7)

RS= radiação de ondas curtas estimada ao nível do solo (mm/período)

RA= radiação extra-terrestre, função do mês e latitude (Tabela 4)

n/N= razão de insolação média do período, sendo N o número máximo possível de horas de brilho solar obtido em função da latitude e mês (Tabela 5).

Ex.: Determine a evapotranspiração potencial para Estação Meteorológica de Mandacaru, cuja latitude é de  $09^{\circ}24'S$  e altitude 375,5 m, os dados observados são do mês de dezembro. Considere que neste período a velocidade do vento a 2,0 m foi de 1,8 m/s, a umidade relativa 62%, insolação de 6,2 h e temperatura média do ar  $28,1^{\circ}C$ .

SOLUÇÃO:

$$ETP = C.W.RS$$

lat-  $09^{\circ}24'S$

altitude= 375,5 m

mês- dezembro

V = 1,8 m/s

UR= 62%

N- 6,2 h

T-  $28,1^{\circ}C$

1)  $W=0,78$ , valor obtido na Tabela 7 usando-se a temperatura do ar ( $28,1^{\circ}C$ ) e altitude (375,5 m).

2)  $RS=RA (0,24 + 0,58 \cdot n/N)$

2.1-  $RA = 16,1$ , obtido na Tabela 4 em função do mês (dezembro) e latitude ( $09^{\circ}24'S$ ), interpolando-se.

2.2-  $(0,24 + 0,58 \cdot n/N) = 0,24 + 0,58 \cdot 6,2/12,6 = 0,53$ .

$N = 12,6$  foi obtido na Tabela 5 em função da latitude e mês.

$RS=16,1 \times 0,53 = 8,46$ .

3)  $W.RS=0,78 \times 8,46 = 6,60$ .

$ETP = C \times 6,60$

No gráfico III da Figura 1 com os valores de  $WRS=6,60$ , velocidade do vento 1,8 m/s e umidade relativa 62%, obtém-se:  $ETP = 5,5$  mm/dia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM NETO, M. da S. Análise preliminar do desempenho de um sistema de medi-  
das de evaporação para o Tanque Classe "A". Piracicaba, ESALQ-USP, 1981.  
75p. Tese Mestrado.
- AMORIM NETO, M. da S., OLIVEIRA, C.A.V. & SILVA, D.D. da. Avaliação de dife-  
rentes métodos para estimativa de evapotranspiração potencial em regiões  
semi-áridas. Petrolina, PE, EMBRAPA/CPATSA, 1985. n.p.
- BENAVIDES, J.G. & LOPEZ, D. Fórmula para el calculo de la evapotranspiracion  
potencial adaptada al trópico (15° N-15°S), *Agronomia Tropical*. Maracay,  
Venezuela, 20(5):335-345, 1970.
- BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. Evaporação e Evapotranspiração. Boletim Técni-  
co. Instituto de Pesquisas Agronômicas. Departamento de Pesquisa. Secreta-  
ria da Agricultura. Porto Alegre, RS. 95p. il. 1981.
- FAO.ROMA, Itália. Yield response to water. In: DOOREMBOS, J. & KASSAM, A.H.  
Irrigation yield drainage. Roma, 1979. p.193. (Paper 33).
- ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. Principios y aplicaciones del riego.  
Editorial, Reverté, S.A. 396p. 1979.
- LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation rates in various  
climates, using temperature data alone. *Agric. Meteorol.*, 18:409-424,  
1977.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from Open Water, bare soil and grass.  
*Proc. Roy Soc. of London, Ser., A*(193):120-145, 1948.

- THORNTHWAITE, C.W. Instruction and table for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publ. Climatology, 10(3):155-311, 1957.
- VAREJÃO-SILVA, M.A. Instrumentos meteorológicos convencionais para estações de superfície-1ª parte. Campina Grande, UFPb-CCT (EDITEL), 1979. Pag. por capítulo, ilust. (Coleção Politécnica, Série Didática, 1).
- VILLA NOVA, N.A. A Estimativa da Evaporação Potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ-USP. 1967. 66p. Tese de Doutorado.

APÊNDICE:

TABELA 1- Determinação da temperatura do ponto de orvalho.

t	UMIDADE RELATIVA (%)																		t
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
06	69	65	63	60	58	57	55	54	52	51	00	01	02	03	04	05	05	06	06
07	68	64	62	59	57	56	54	53	51	00	01	02	03	04	05	06	06	07	07
08	67	64	61	58	56	55	53	52	00	01	02	03	04	05	06	07	07	08	08
09	66	63	60	58	56	54	52	51	00	02	03	04	05	06	07	07	08	09	09
10	65	62	59	57	55	53	51	00	01	03	04	05	06	07	08	08	09	10	10
11	65	61	58	56	54	52	00	01	02	04	05	06	07	09	09	09	10	11	11
12	64	60	57	55	53	51	00	02	03	05	06	07	09	09	10	10	11	12	12
13	63	69	57	54	52	00	01	03	04	05	07	08	09	10	11	11	12	13	13
14	62	59	56	53	51	01	02	04	05	06	08	09	10	11	11	12	13	14	14
15	61	58	55	52	00	02	03	05	06	07	08	10	11	12	12	13	14	15	15
16	61	57	54	52	01	02	04	06	07	08	09	11	12	13	14	14	15	16	16
17	60	56	53	51	01	03	05	07	08	09	10	12	13	14	15	15	16	17	17
18	59	55	52	00	02	04	06	07	09	10	11	13	14	15	15	16	17	18	18
19	58	54	51	01	03	05	07	08	10	11	12	13	15	16	16	17	18	19	19
20	57	54	51	02	04	06	08	09	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20
21	57	53	00	03	05	07	09	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	21
22	56	52	01	04	06	08	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	22
23	55	51	02	05	07	09	10	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23
24	54	00	03	05	08	10	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24
25	53	01	04	06	09	11	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25
26	53	01	05	07	09	11	13	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26
27	52	02	05	08	10	12	14	16	17	19	20	21	22	23	24	25	26	27	27
28	51	03	06	09	11	13	15	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	28
29	00	04	07	10	12	14	16	18	19	20	22	23	24	25	26	27	28	29	29
30	00	05	08	11	13	15	17	18	20	21	23	24	25	26	27	28	29	30	30
31	01	05	09	11	14	16	18	19	21	22	24	25	26	27	28	29	30	31	31
32	02	06	10	12	15	17	19	20	22	23	25	26	27	28	29	30	31	32	32
33	03	07	10	13	16	18	20	21	23	24	26	27	28	29	30	31	32	33	33
34	04	08	11	14	16	19	20	22	24	25	27	28	29	30	31	32	33	34	34
35	05	09	12	15	17	19	21	23	25	26	27	29	30	31	32	33	34	35	35
36	05	10	13	16	18	20	22	24	26	27	28	30	31	32	33	34	35	36	36
37	06	10	14	17	19	21	23	25	27	28	29	31	32	33	34	35	36	37	37
38	07	11	15	17	20	22	24	26	27	29	30	32	33	34	35	36	37	38	38
39	08	12	15	18	21	23	25	27	28	30	31	33	34	35	36	37	38	39	39
40	09	13	16	19	22	24	26	28	29	31	32	34	35	36	37	38	39	40	40
41	09	14	17	20	23	25	27	29	30	32	33	34	36	37	38	39	40	41	41
42	10	14	18	21	23	26	28	29	31	33	34	35	37	38	39	40	41	42	42

OBS.: Aos valores de  $T_{d,d}$  inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  está adicionado 50 em valor absoluto.  
(VAREJÃO SILVA, 1979).-

TABELA 2- Coeficiente de tanque (Kp) para Tanque Classe A para diferentes coberturas vegetais e Níveis de Umidade Relativa Média e Vento em 24 horas (FAO, 1979).

VENTO km / dia	TANQUE COLOCADO EM ÁREA CULTIVADA COM VEGETAÇÃO BAIXA				TANQUE COLOCADO EM ÁREA NÃO CULTIVADA			
	TAMANHO DA BORDADURA (SOLO NU) m	UMID. REL. MÉDIA %			TAMANHO DA BORDADURA (SOLO NU) m	UMID. REL. MÉDIA %		
		BAIXA 40	MÉDIA 40-70	ALTA 70		BAIXA 40	MÉDIA 40-70	ALTA 70
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1.000	0,75	0,85	0,85	1.000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,60	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1.000	0,70	0,80	0,80	1.000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1.000	0,65	0,70	0,75	1.000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 700	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1.000	0,55	0,60	0,65	1.000	0,35	0,40	0,45



TABELA 3- Valores de  $\Delta/\gamma$  entre 1 e 40°C (Villa Nova, 1967):

t	$\Delta/\gamma$	t	$\Delta/\gamma$
1	0,6	21	2,2
2	0,8	22	2,4
3	0,8	23	2,6
4	0,8	24	2,6
5	1,0	25	2,8
6	1,0	26	3,0
7	1,2	27	3,2
8	1,2	28	3,2
9	1,2	29	3,6
10	1,2	30	3,8
11	1,4	31	4,0
12	1,4	32	4,2
13	1,6	33	4,2
14	1,6	34	4,4
15	1,6	35	4,6
16	1,8	36	5,2
17	1,8	37	5,2
18	2,0	38	5,4
19	2,0	39	5,6
20	2,0	40	5,8

TABELA 4- Valores de  $R_A$  (radiação extra-terrestre) em mm de evaporação equivalente por dia (FAO, 1979).

LATITUDE S	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
40°	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	5,9	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3
38	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
36	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
20	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
12	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8

TABELA 5- Valor médio mensal do número máximo possível de horas de brilho solar, nos 12 meses do ano, nas latitudes de 0 a 35°S.

LAT. SUL	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
0	12,1	11,9	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
1	12,1	12,0	12,1	12,1	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,2	12,1
2	12,1	12,0	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,2	12,1
3	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2
4	12,3	12,1	12,1	12,0	11,9	11,9	12,0	12,0	12,0	12,1	12,3	12,3
5	12,3	12,1	12,1	12,0	11,9	11,9	11,9	12,0	12,2	12,2	12,3	12,3
6	12,3	12,2	12,1	12,0	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,2	12,4	12,4
7	12,4	12,2	12,1	12,0	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,2	12,4	12,5
8	12,5	12,3	12,1	11,9	11,8	11,7	11,7	11,8	12,0	12,3	12,5	12,5
9	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,6	11,6	11,8	12,0	12,3	12,5	12,6
10	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
11	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,3	12,6	12,8
12	12,7	12,4	12,1	11,8	11,6	11,4	11,5	11,7	12,0	12,3	12,7	12,8
13	12,8	12,5	12,2	11,8	11,5	11,4	11,4	11,6	12,0	12,4	12,7	12,9
14	12,8	12,5	12,2	11,8	11,5	11,3	11,3	11,6	12,0	12,4	12,8	13,8
15	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,3	11,3	11,6	12,0	12,4	12,8	13,0
16	13,0	12,6	12,2	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	12,0	12,4	12,8	13,1
17	13,1	12,6	12,2	11,7	11,3	11,2	11,1	11,5	12,0	12,5	12,9	13,1
18	13,2	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
19	13,2	12,7	12,2	11,7	11,2	11,0	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
20	13,3	12,7	12,2	11,6	11,1	11,0	11,0	11,5	12,0	12,5	13,1	13,3
21	13,3	12,8	12,2	11,6	11,1	10,9	10,9	11,4	12,0	12,6	13,1	13,4
22	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,4	12,0	12,6	13,2	13,5
23	13,5	12,9	12,2	11,6	11,0	10,8	10,8	11,4	12,0	12,6	13,2	13,5
24	13,5	12,9	12,2	11,5	10,9	10,7	10,8	11,4	12,0	12,7	13,3	13,6
25	13,6	12,9	12,2	11,5	10,9	10,6	10,8	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7
26	13,7	12,9	12,3	11,5	10,9	10,5	10,8	11,3	12,0	12,8	13,4	13,7
27	13,7	13,0	12,3	11,5	10,8	10,4	10,7	11,3	12,0	12,8	13,4	13,8
28	13,8	13,0	12,3	11,4	10,8	10,0	10,6	11,2	12,0	12,9	13,5	13,9
29	13,9	13,1	12,3	11,4	10,7	10,3	10,5	11,2	12,0	12,9	13,6	14,0
30	13,9	13,1	12,3	11,4	10,7	10,2	10,4	11,1	12,0	13,0	13,7	14,0
31	14,0	13,1	12,3	11,4	10,6	10,1	10,4	11,1	12,0	13,0	13,8	14,1
32	14,1	13,2	12,3	11,4	10,6	10,1	10,3	11,1	12,0	13,0	13,8	14,2
33	14,2	13,2	12,3	11,3	10,5	10,0	10,2	11,0	12,0	13,1	13,9	14,3
34	14,2	13,2	12,3	11,3	10,4	9,9	10,2	11,0	12,0	13,1	14,0	14,4
35	14,3	13,3	12,3	11,3	10,4	9,8	10,1	10,9	12,0	13,2	14,0	14,5

TABELA 6- Tensão máxima do vapor, sobre água, em milímetros de Hg.

(t)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	4.58	4.61	4.65	4.68	4.72	4.75	4.79	4.82	4.86	4.89
1	4.93	4.96	5.00	5.03	5.07	5.11	5.14	5.18	5.22	5.26
2	5.29	5.33	5.37	5.41	5.45	5.49	5.53	5.57	5.61	5.65
3	5.69	5.73	5.77	5.81	5.85	5.89	5.93	5.97	6.02	6.06
4	6.10	6.14	6.19	6.23	6.27	6.32	6.36	6.41	6.45	6.50
5	6.54	6.59	6.64	6.68	6.73	6.78	6.82	6.87	6.92	6.97
6	7.01	7.06	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.41	7.46
7	7.51	7.57	7.62	7.67	7.72	7.78	7.83	7.88	7.94	7.99
8	8.05	8.10	8.16	8.21	8.27	8.32	8.38	8.44	8.49	8.55
9	8.61	8.67	8.73	8.79	8.85	8.91	8.97	9.03	9.09	9.15
10	9.21	9.27	9.33	9.40	9.46	9.52	9.59	9.65	9.71	9.78
11	9.84	9.91	9.98	10.04	10.11	10.18	10.24	10.31	10.38	10.45
12	10.52	10.59	10.65	10.73	10.80	10.87	10.94	11.01	11.09	11.16
13	11.23	11.31	11.38	11.45	11.53	11.60	11.68	11.76	11.83	11.91
14	11.99	12.07	12.14	12.22	12.30	12.38	12.46	12.54	12.62	12.71
15	12.79	12.87	12.95	13.04	13.12	13.21	13.29	13.38	13.46	13.55
16	13.63	13.72	13.81	13.90	13.99	14.08	14.17	14.26	14.35	14.44
17	14.53	14.62	14.72	14.81	14.90	15.00	15.09	15.19	15.28	15.38
18	15.48	15.58	15.67	15.77	15.87	15.97	16.07	16.17	16.27	16.37
19	16.48	16.58	16.69	16.79	16.89	17.00	17.11	17.21	17.32	17.43
20	17.54	17.64	17.75	17.86	17.97	18.09	18.20	18.31	18.42	18.54
21	18.65	18.77	18.88	19.00	19.11	19.23	19.35	19.47	19.59	19.71
22	19.83	19.95	20.07	20.17	20.32	20.44	20.57	20.69	20.82	20.94
23	21.07	21.20	21.32	21.45	21.58	21.71	21.85	21.98	22.11	22.24
24	22.38	22.51	22.65	22.79	22.92	23.06	23.20	23.34	23.48	23.62
25	23.76	23.90	24.04	24.18	24.33	24.47	24.62	24.76	24.91	25.06
26	25.21	25.36	25.51	25.66	25.81	25.96	26.12	26.27	26.43	26.58
27	26.74	26.90	27.06	27.21	27.37	27.54	27.70	27.86	28.02	28.19
28	28.35	28.51	28.68	28.85	29.02	29.18	29.35	29.53	29.70	29.87
29	30.04	30.22	30.39	30.57	30.75	30.92	31.10	31.28	31.46	31.64
30	31.82	32.01	32.19	32.38	32.56	32.75	32.93	33.12	33.31	33.50
31	33.70	33.89	34.08	34.28	34.47	34.67	34.86	35.06	35.26	35.46
32	35.66	35.87	36.07	36.27	36.48	36.68	36.89	37.10	37.31	37.52
33	37.73	37.94	38.16	38.37	38.58	38.80	39.02	39.24	39.46	39.68
34	39.90	40.12	40.34	40.57	40.80	41.02	41.25	41.48	41.71	41.94
35	42.18	42.41	42.64	42.88	43.12	43.46	43.60	43.84	44.08	44.32
36	44.56	44.81	45.05	45.30	45.55	45.80	46.05	46.30	46.56	46.81
37	47.07	47.32	47.58	47.84	48.10	48.36	48.63	48.89	49.16	49.42
38	49.69	49.96	50.24	50.50	50.77	51.05	51.32	51.60	51.88	52.16
39	52.44	52.73	53.01	53.29	53.58	53.87	54.16	54.45	54.74	55.03

TABELA 7- Valores do fator de ponderação ( $\tilde{W}$ ) para o efeito da radiação solar  $ET_0$  a diferentes temperaturas e altitudes (FAO, 1979).

TEMPERATURA °C	W A ALTITUDE (m)				
	0	500	1.000	2.000	3.000
2	0,43	0,45	0,46	0,49	0,52
4	0,46	0,48	0,49	0,52	0,55
6	0,49	0,51	0,52	0,55	0,58
8	0,52	0,54	0,55	0,58	0,61
10	0,55	0,57	0,58	0,61	0,64
12	0,58	0,60	0,61	0,64	0,66
14	0,61	0,62	0,64	0,66	0,69
16	0,64	0,65	0,66	0,69	0,71
18	0,66	0,67	0,69	0,71	0,72
20	0,69	0,70	0,71	0,73	0,75
22	0,71	0,72	0,73	0,75	0,77
24	0,73	0,74	0,75	0,77	0,79
26	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
28	0,77	0,78	0,79	0,81	0,82
30	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84
32	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85
34	0,82	0,82	0,83	0,85	0,86
36	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88
38	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
40	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89

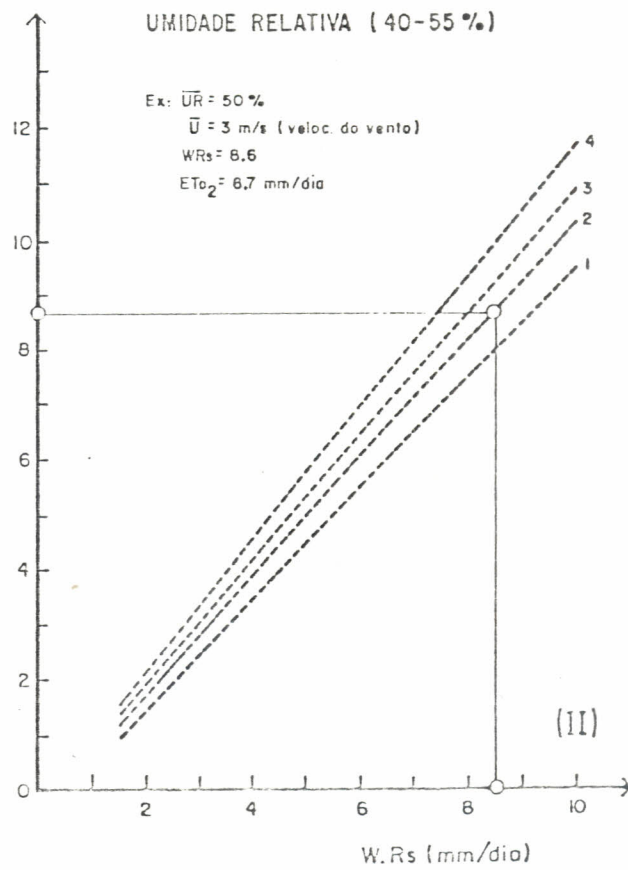
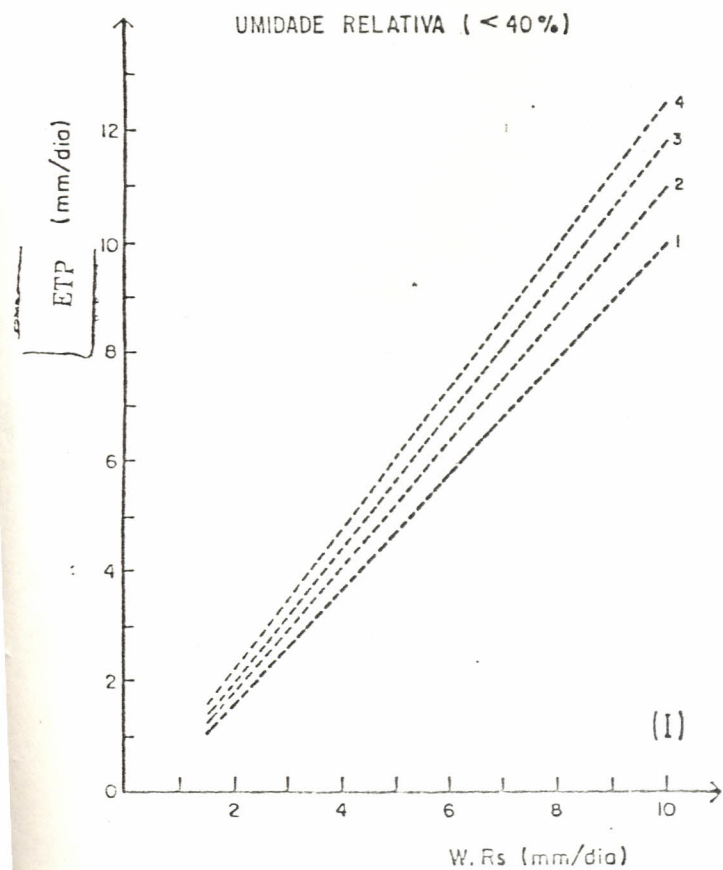
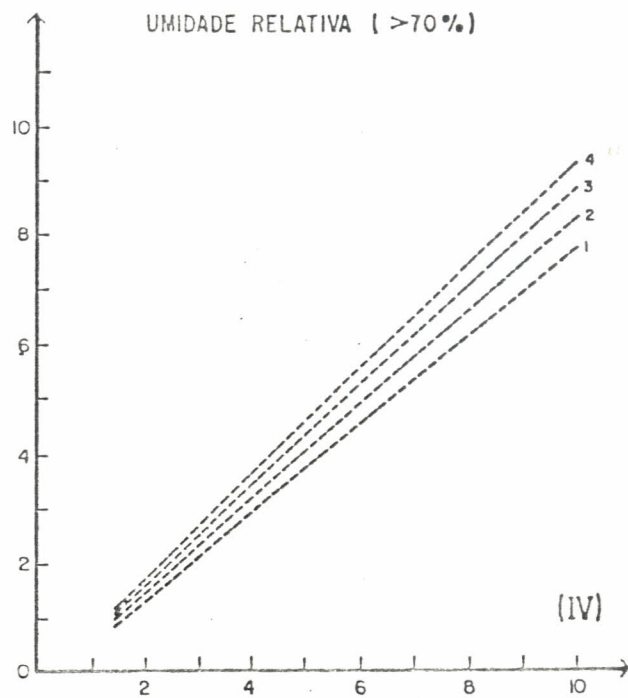
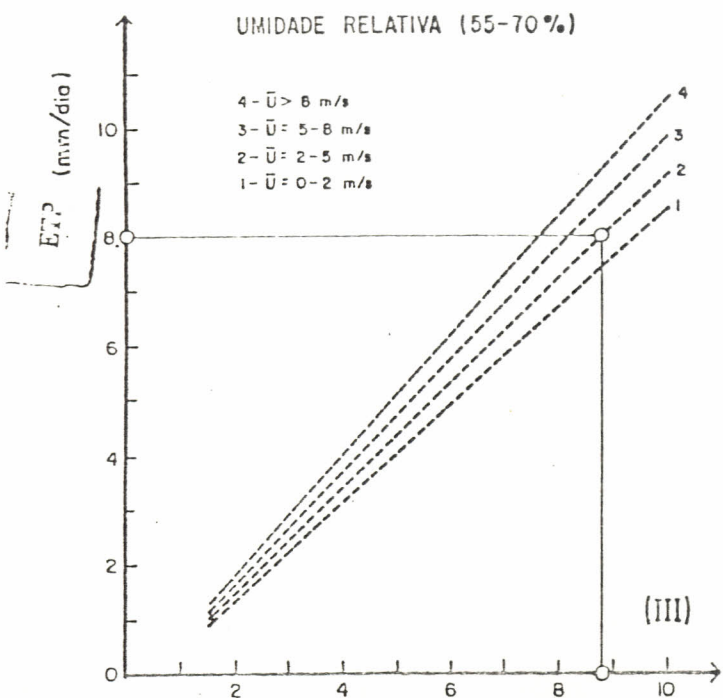


FIGURA 1- Estimativa de ETP em função do produto  $wRs$  para diferentes níveis de Umidade Relativa (%) e Velocidade Média do Vento (m/s). (FAO, 1979).