

Evapotranspiração de referência.
Fórmula FAO Penman-Monteith

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

ET	= Transpiração (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
R_n	= Radiação líquida (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
G	= Densidade do fluxo de calor do solo (Mj m ⁻² dia ⁻¹)
λ	= Calor latente de vaporização da água (MJ Kg ⁻¹)
ρ	= Massa volúmica do ar
c_p	= Calor específico do ar (kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹)
e_s	= Pressão do vapor de saturação (kPa)
e_a	= Pressão actual do vapor de água (kPa)
$e_s - e_a$	= Defice de saturação (kPa)
Δ	= Declive da curva da saturação do vapor (kPa °C ⁻¹)
γ	= Constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)
r_a	= Resistência aerodinâmica (s m ⁻¹)
r_c	= Resistência do copado (s m ⁻¹)

Metodologia da FAO para a determinação dos consumos hídricos das culturas

A resistência aerodinâmica varia com as condições climáticas e a rugosidade da superfície

A resistência do copado varia com o tipo e coberto vegetal e não é directamente conhecida para cada cultura.

A **metodologia da FAO** para a determinação dos consumos hídricos das culturas consiste em calcular a evapotranspiração para uma cultura fictícia, semelhante a um relvado extenso, sempre bem abastecido de água e mantido permanentemente com 12 cm de altura. Para estas condições define-se um valor de r_a e outro de r_c .

A ET calculada para esta referência denomina-se **EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA** (ET_o) e depende apenas das condições climáticas.

A **Evapotranspiração da cultura** (ET_c) calcula-se introduzindo o conceito de Coeficiente cultural (k_c) , através da expressão

$$ET_c = ET_o \times k_c$$

CONDIÇÕES PARA A SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

RESISTÊNCIA DO COPADO

$$r_c = \frac{R_e}{0.5 \times LAI} \approx \frac{200}{LAI}$$

R_e = resistência estomática, considerada aproximadamente igual a 200 s m^{-1}

LAI = Índice de área foliar.

Para a relva tem-se

$$LAI = 24 h_c$$

em que h_c , em metros, é a altura da relva.

No caso da situação de referência ($h_c = 0,12 \text{ m}$)

$$LAI = 2,88$$

$$r_c = \frac{200}{2.88} = 70$$

RESISTÊNCIA AERODINÂMICA

A resistência aerodinâmica pode ser calculada por

$$r_a = \frac{R_n \left(\frac{z_m - d}{z_{0m}} \right) \ln \left(\frac{z_h - d}{z_{0h}} \right)}{K^2 U_z}$$

em que:

z_m = altura da medição do vento

z_h = altura da medição da temperatura e humidade

d = altura de deslocamento do plano nulo do perfil do vento

k = constante de von Karmen = 0.41

z_{0m} = parâmetro de rugosidade para a quantidade de movimento

z_{0h} = parâmetro de rugosidade para o calor e vapor de água

Para uma superfície de relva, com $h_c=0.12$ m (situação de referência) tem-se:

$$d = \frac{3}{3} h_c = 0.08$$

$$z_{0m} = 0.123 h_c = 0.015$$

$$z_{0h} = 0.0123 h_c = 0.0015$$

Considerando a medição das variáveis meteorológicas à altura standard de 2 metros tem-se:

$$z_m = z_h = 2$$

Substituindo fica, para a situação de referência:

$$r_a = \frac{208}{U_2}$$

Considerando o valor anteriormente calculado da resistência do copado

$$\frac{r_c}{r_a} = \frac{70}{\frac{208}{U_2}} = 0,34 U_2$$

A fórmula de Penman-Monteith pode ser analisada como a soma de duas componentes, radiação e aerodinâmica.

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

Componente aerodinâmica

Na componente aerodinâmica, substituindo r_c e r_a pelos seus valores para a cultura de referência e considerando que 86.4 é um fator de conversão de $\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para mm d^{-1} , fica:

$$ET_{0\text{aero}} = \frac{86.4}{\lambda} \times \frac{1}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times U_2)} \times \frac{\rho C_p}{r_a} (e_s - e_a)$$

Considerando que c_p (calor específico) pode ser estimado por

$$C_p = \gamma \frac{0.622}{P} \lambda \times 10^3$$

em que P é a pressão atmosférica e λ é o calor latente de vaporização

$$ET_{\text{aero}} = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times U_2)} \times \frac{\rho 0.622 \lambda}{P} \times \frac{86400}{\lambda} \times \frac{(e_s - e_a)}{r_a}$$

Considerando que ρ (massa volúmica do ar) pode ser estimada em função da pressão e da temperatura, a partir da equação:

$$\rho = 3.486 \frac{P}{1.01(T + 273)}$$

e substituindo a resistência aerodinâmica (r_a) pelo seu valor estimado para a cultura de referência

$$r_a = \frac{208}{U_2}$$

em que U_2 é a velocidade do vento medida à altura de 2 metros, resulta:

$$ET_{0aero} = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times U_2)} \times \frac{900}{T + 273} \times U_2(e_a - e_d)$$

Que é a componente aerodinâmica do método FAO-Penmam_Monteith

EQUAÇÃO FAO-PENMANN-MONTEITH

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

ET_o	= Evapotranspiração de referência (mm dia-1)
R_n	= Radiação líquida (Mj m-2 dia-1)
G	= Densidade do fluxo de calor do solo (Mj m-2 dia-1)
T	= Temperatura média do ar (° C)
U_2	= Velocidade média do vento à altura de 2 m (m s-1)
e_s	= Pressão do vapor de saturação (kPa)
e_a	= Pressão actual do vapor de água (kPa)
$e_s - e_a$	= Defice de saturação (kPa)
Δ	= Declive da curva da pressão do vapor (kPa °C-1)
γ	= Constante psicrométrica (kPa °C-1)