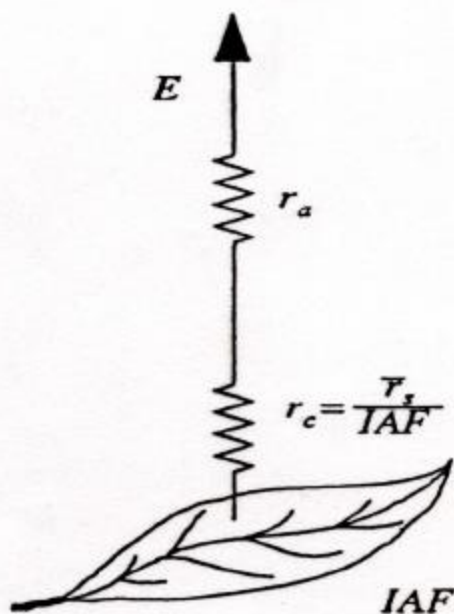


Evapotranspiração de referência.  
Fórmula FAO Penman-Monteith

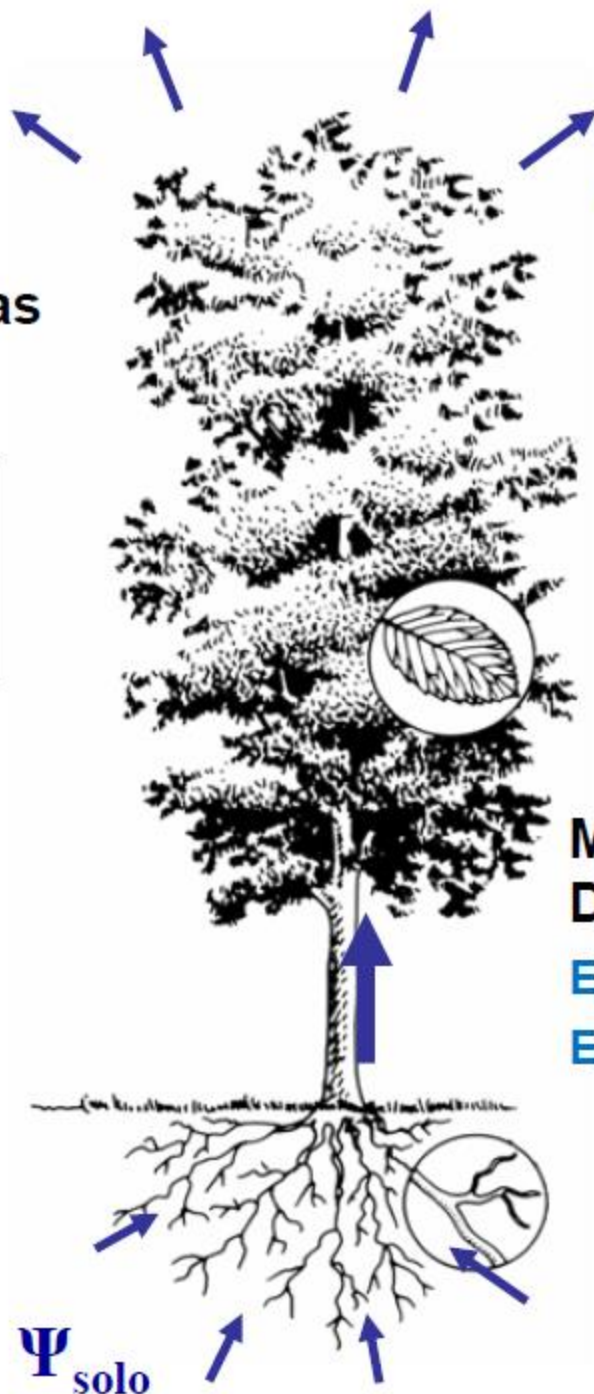
# Durante o dia

Modelo de Penman-Monteith com as resistências activas ( $r_c + r_a$ )

$$g E_T = \frac{\Delta R_n + \rho c_p D / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)}$$



slide1



$\Psi_{\text{folha}}$  diminui

O resto do sistema começa então a responder ao gradiente de potencial criado: sentido do solo para as folhas

Modelo Hidráulico, Lei de Darcy:

$$E_t = G_{\text{solo-folha}} (\Psi_{\text{solo}} - \Psi_{\text{folha}})$$

$$E_t = (1/r_{\text{solo-folha}}) (\Psi_{\text{solo}} - \Psi_{\text{folha}})$$

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

- $ET$  = Transpiração ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )  
 $R_n$  = Radiação líquida ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )  
 $G$  = Densidade do fluxo de calor do solo ( $\text{Mj m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )  
 $\lambda$  = Calor latente de vaporização da água ( $\text{MJ Kg}^{-1}$ )  
 $\rho$  = Massa volúmica do ar  
 $c_p$  = Calor específico do ar ( $\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ )  
 $e_s$  = Pressão do vapor de saturação (kPa)  
 $e_a$  = Pressão actual do vapor de água (kPa)  
 $e_s - e_a$  = Defice de saturação (kPa)  
 $\Delta$  = Declive da curva da saturação do vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )  
 $\gamma$  = Constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )  
 $r_a$  = Resistência aerodinâmica ( $\text{s m}^{-1}$ )  
 $r_c$  = Resistência do copado ( $\text{s m}^{-1}$ )

# 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.

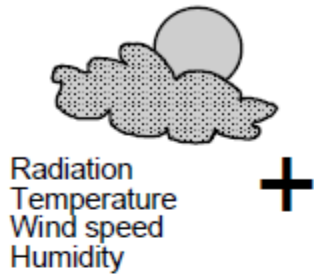
A **metodologia da FAO** para a determinação dos consumos hídricos das culturas consiste em calcular a evapotranspiração para uma cultura fictícia, semelhante a um relvado extenso, sempre bem abastecido de água e mantido permanentemente com 12 cm de altura. Para estas condições define-se um valor de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

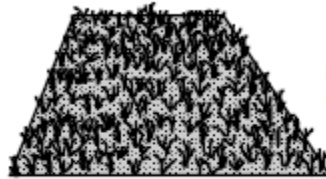
$$ET_c = ET_o \times k_c$$

climate



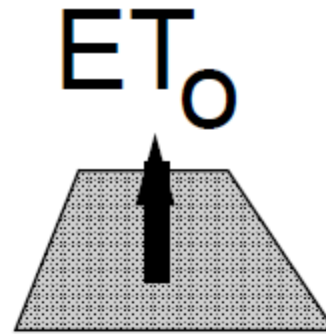
+

grass  
reference  
crop



well watered  
grass

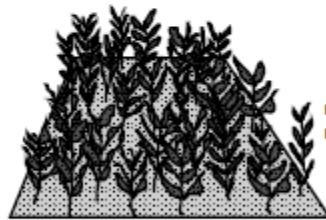
=



$ET_0$

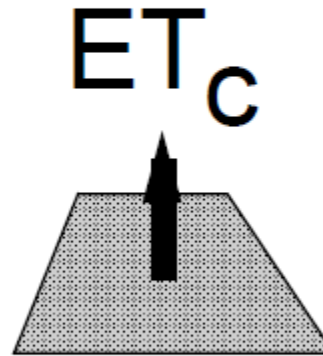
x

$K_c$  factor



well watered crop  
optimal agronomic conditions

=



$K_s \times K_c$  adjusted

$ET_c$  adi

# 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  $200 \text{ s m}^{-1}$

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

Considerando a medição das variáveis meteorológicas à altura standard de 2 metros e a altura da cultura de 0,12 m, tem-se:

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

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  $\text{mm d}^{-1}$ , 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  $\lambda$  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  $\rho$  (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)  
 $\Delta$  = Declive da curva da pressão do vapor (kPa °C-1)  
 $\gamma$  = Constante psicrométrica (kPa °C-1)