



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

2 - Agrometeorologia aplicada à irrigação



2.1 - Introdução

→ Irrigação → fornecimento de água às culturas

Condições
climáticas

Disponibilidade de
água no solo

- viabiliza a exploração agrícola em climas semi-áridos, em climas com período de secas regulares e com secas esporádicas (veranico)



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- Condição meteorológica → principal fator condicionante da demanda atmosférica por vapor
 - estimativa da necessidade hídrica das culturas
 - quantidade de água a ser aplicada
 - fundamentais para o planejamento (dimensionamento de projetos) e manejo (quando e quanto irrigar)

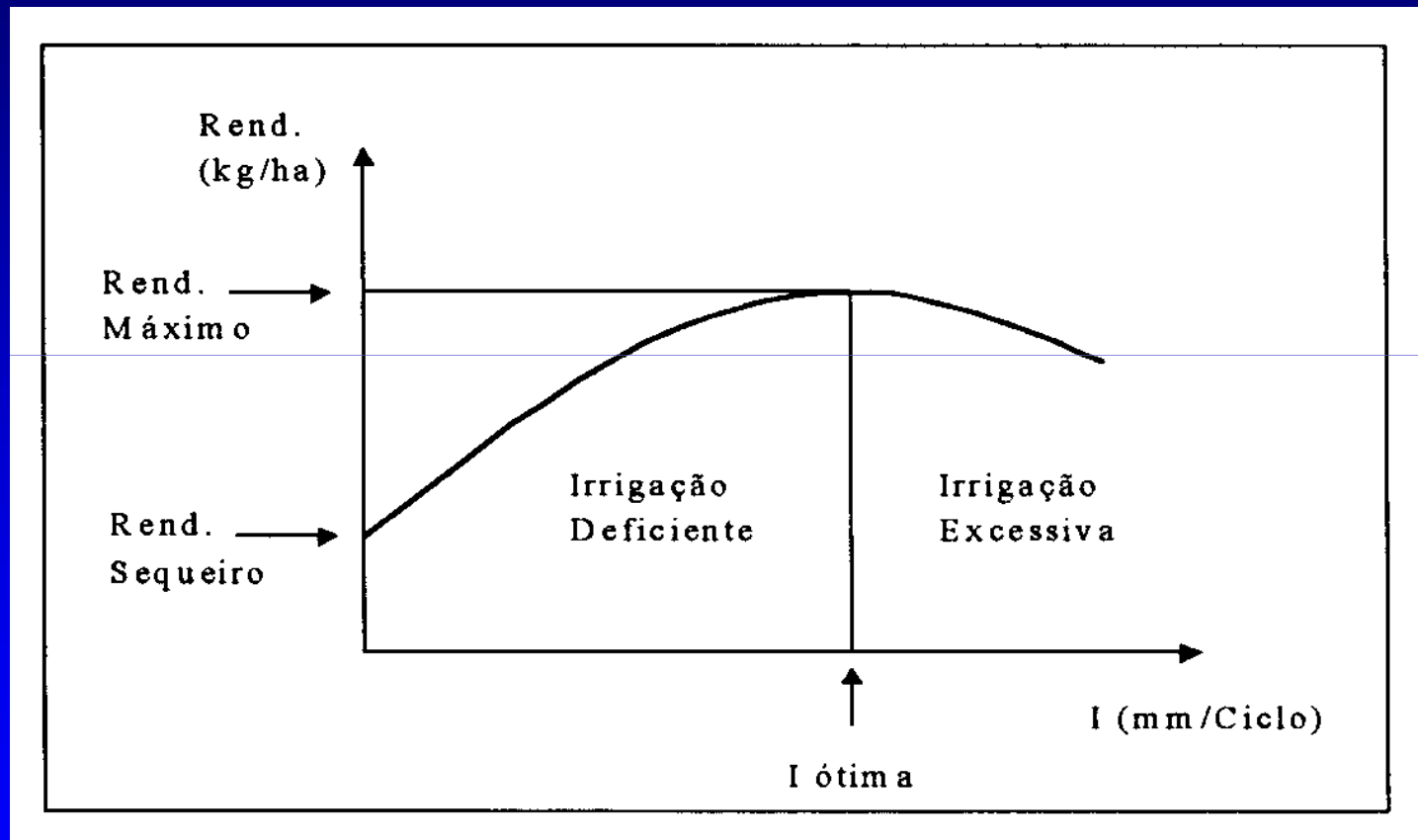


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- 70% da água consumida
 - evitar o desperdício é fundamental
 - racionalização do uso da água
 - energia e m.d.o.
 - aumento da rentabilidade da cultura a ser explorada



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- Nesta última década
 - aumento da conscientização para a preservação dos recursos naturais
 - popularização das estações climatológicas
 - aumentaram os métodos de estimativa da ETo
 - maior exigência de conhecimentos básicos de agrometeorologia pelos técnicos



2.2 - Participação da energia radiante em superfícies vegetadas e evapotranspiração

→ Radiação solar → fonte de energia primária de todos os processos físicos naturais

→ evapotranspiração (evaporação + transpiração) → radiação solar é o principal condicionador



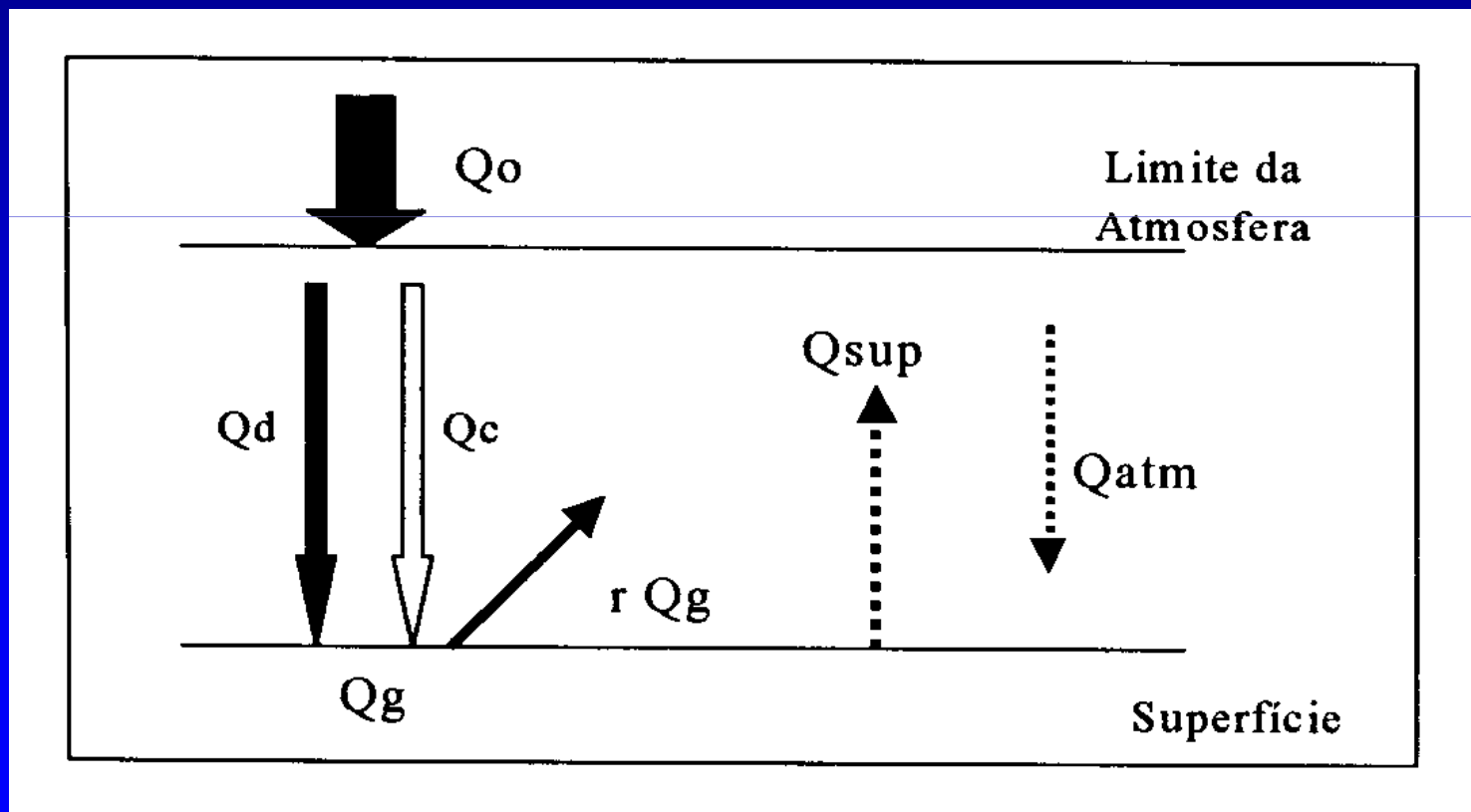
IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- a ordem deste processo dependerá da energia disponível.
- O espectro de distribuição da radiação solar que chega na superfície terrestre é constituído predominantemente de ondas curtas



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

Princípios envolvidos na determinação do balanço de energia radiante





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

Q_0 → radiação que chega no limite externo da atmosfera

Q_d → irradiância direta

Q_c → irradiância difusa

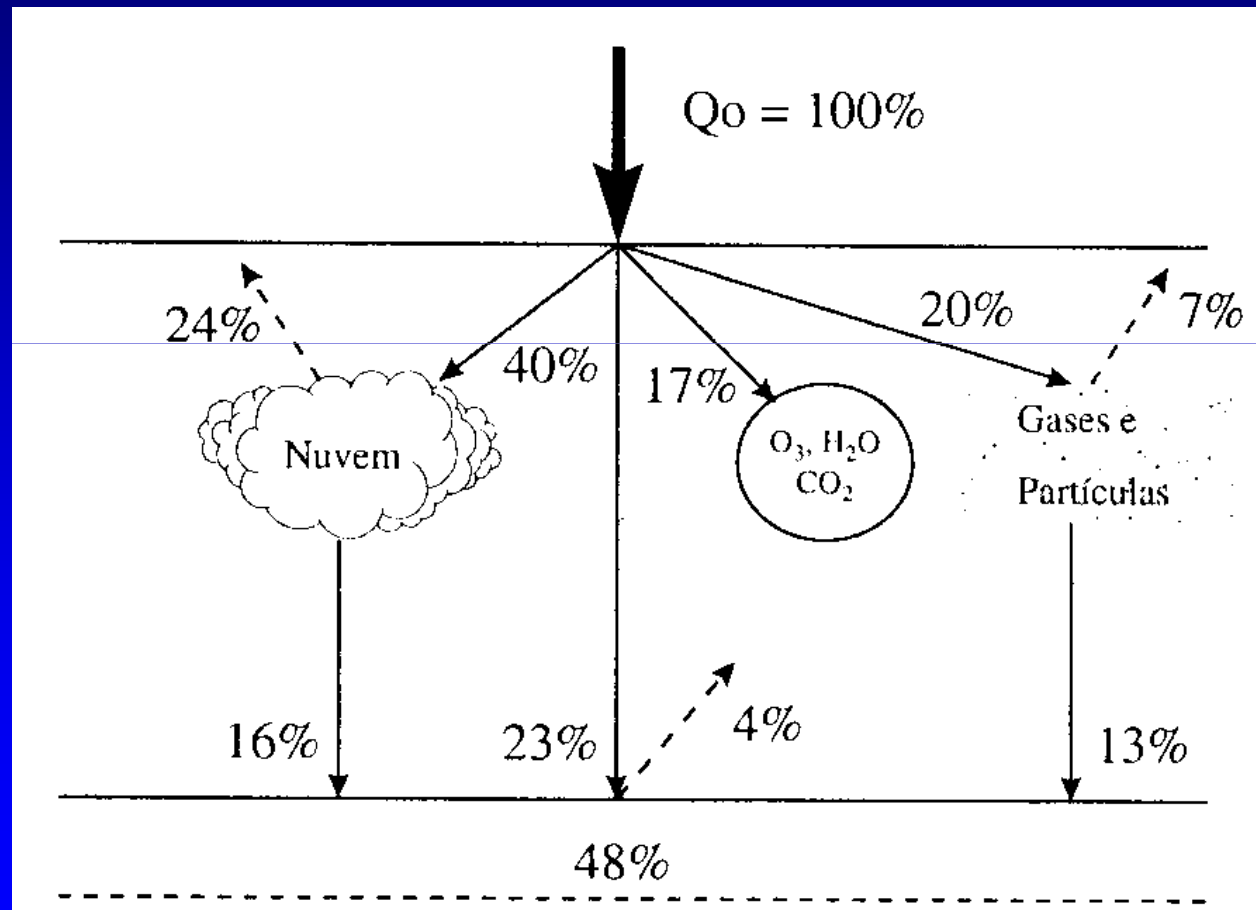
Q_g → irradiância solar global

Q_{sup} → irradiância emitida pela superfície

Q_{atm} → irradiância emitida pela atmosfera
(contra-radiação atmosférica)

As duas últimas dependem das suas temperaturas e de seus poderes emissores.

IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- A cada instante, haverá um balanço de radiação denominado de R_n :

$$R_n = R_{OC} + R_{OL}$$

- Adotando-se valores positivos para os fluxos que entram no sistema e negativos para os que saem:



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

$$ROC = R_s - \alpha R_s = R_s(1 - \alpha)$$

$$ROL = Q_{atm} - Q_{sup}$$

$$R_n = ROC + ROL = R_s(1 - \alpha) + Q_{atm} - Q_{sup}$$

- R_n saldo de radiação ou radiação líquida

Superfície	r
água	0,05
Areia seca	0,35 - 0,45
Areia úmida	0,20 - 0,30
Solo claro	0,25 - 0,45
Solo escuro	0,05 - 0,15
Animal pêlo preto	0,10
Gramado	0,20 - 0,30
Algodão	0,20 - 0,22
Alface	0,22
Milho	0,16 - 0,23
Arroz	0,12
Batata	0,20
Trigo	0,24
Feijão	0,24
Tomate	0,23
Abacaxi	0,15
Sorgo	0,20
videira	0,18



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- Normalmente R_n assume valores positivos durante o dia e negativo à noite ($R_{OC} = 0$ e $Q_{sup} > Q_{atm}$). No balanço diário, R_n é positivo e representa cerca de 40 - 60% do total de energia que chega à superfície.

IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

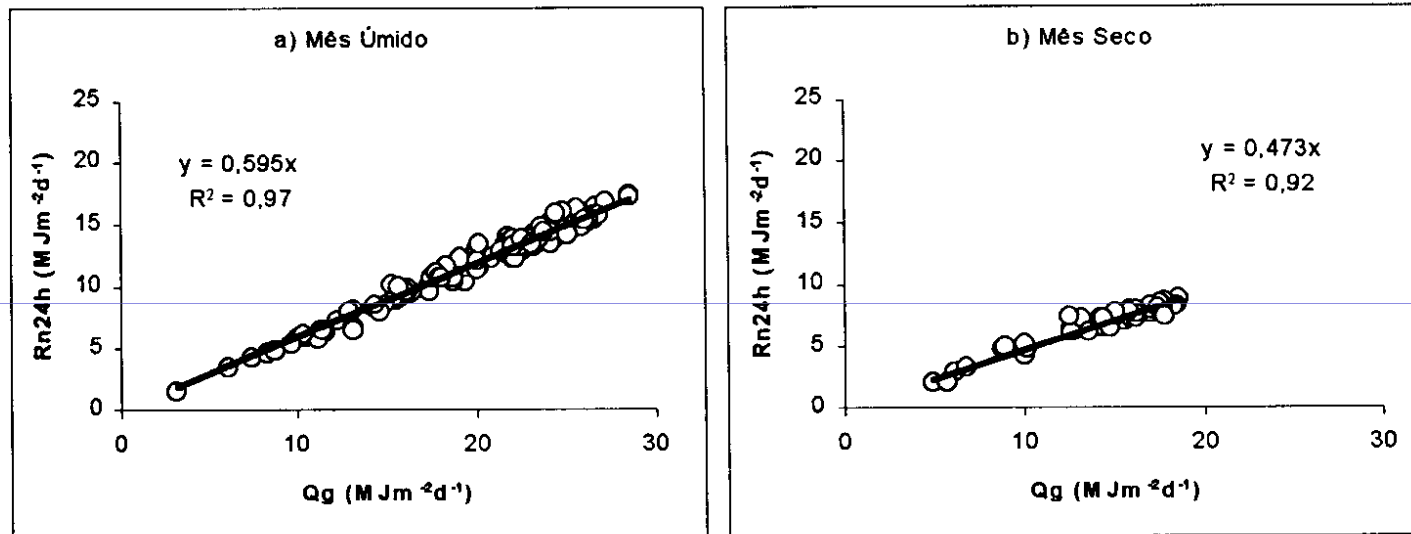


Figura 7. Relação entre o saldo de radiação e a radiação solar global em Piracicaba, SP, em um mês chuvoso (a) e em um mês seco (b).



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- A medida do R_n pode ser feita utilizando um equipamento denominado saldo-radiômetro. Na ausência deste equipamento, R_n pode ser estimado conforme as equações:



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

$$ROC = R_s(1 - \alpha)$$

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N} \right) R_a$$

Para Piracicaba-SP:

- $a=0,17$ e $b=0,22$ (10 a 03)

- $a=0,15$ e $b=0,12$ (04 a 09)

- em que

a e b = coeficientes empíricos, específicos para cada localidade;

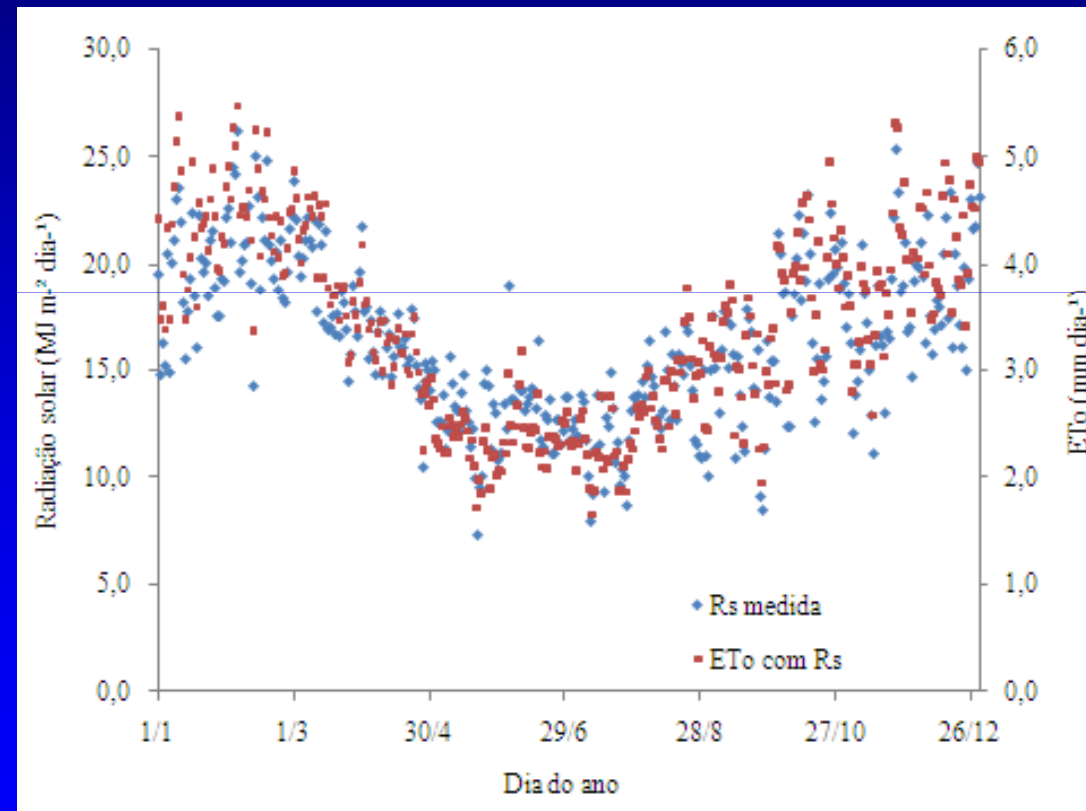
N = número máximo de horas com brilho solar (fotoperíodo);

n = insolação.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

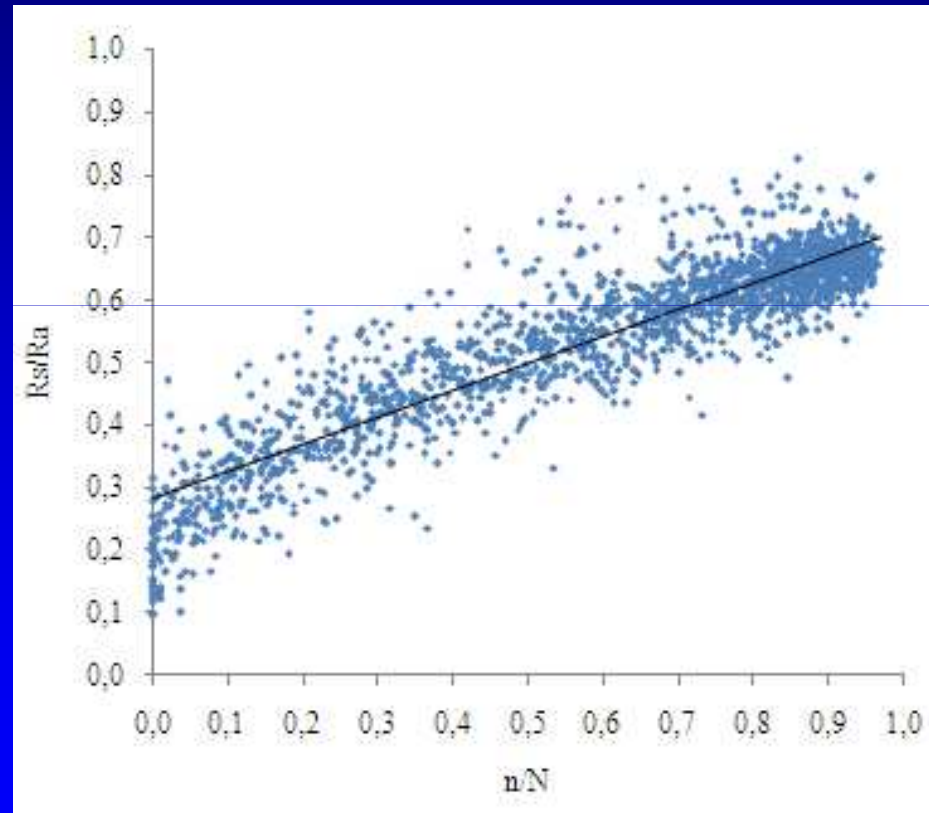
Para Seropédica-RJ:





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

Para Seropédica-RJ:





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

Para Seropédica-RJ:

Mês	a	b	R ²	R _s calculada	R _s medida
Janeiro	0,299 ± 0,031	0,430 ± 0,043	0,865	22,44 ± 1,09	22,09 ± 1,28
Fevereiro	0,266 ± 0,029	0,480 ± 0,048	0,834	22,51 ± 1,08	22,39 ± 1,08
Março	0,289 ± 0,036	0,427 ± 0,036	0,879	19,11 ± 0,91	19,17 ± 1,05
Abril	0,279 ± 0,027	0,397 ± 0,057	0,879	16,14 ± 0,66	16,04 ± 0,74
Maio	0,264 ± 0,043	0,441 ± 0,061	0,885	14,01 ± 0,66	13,75 ± 0,82
Junho	0,281 ± 0,038	0,428 ± 0,072	0,886	13,26 ± 0,48	13,71 ± 0,71
Julho	0,246 ± 0,070	0,455 ± 0,084	0,922	13,58 ± 0,61	13,48 ± 0,73
Agosto	0,232 ± 0,070	0,470 ± 0,085	0,888	15,02 ± 0,80	15,20 ± 0,77
Setembro	0,277 ± 0,054	0,468 ± 0,057	0,868	17,61 ± 1,04	16,83 ± 1,31
Outubro	0,277 ± 0,044	0,504 ± 0,045	0,881	20,94 ± 1,09	20,38 ± 1,13
Novembro	0,269 ± 0,035	0,489 ± 0,048	0,875	20,37 ± 1,07	19,54 ± 1,29
Dezembro	0,294 ± 0,047	0,495 ± 0,050	0,861	21,46 ± 1,15	21,67 ± 1,37
Anual	0,295 ± 0,038	0,417 ± 0,043	0,812	18,12 ± 0,33	18,19 ± 0,79
Geral	0,282	0,433	0,820	17,99 ± 0,29	18,05 ± 0,35



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- o número máximo possível de horas de insolação para um dado local (N) :

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

- Na ausência de coeficientes medidos para uma dada região, pode-se utilizar a relação:

$$R_s = R_a [0,29 \cos(\varphi) + 0,52 (n / N)]$$

em que φ é a latitude do local, expressa em graus decimais.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

$$Ra = 37,586 d_r (\omega_s \sin\varphi \sin\delta_s + \cos\varphi \cos\delta_s \sin\omega_s)$$

em que

- d_r = distância relativa Terra-Sol [rad];
- ω_s = ângulo horário do pôr-do-sol [rad];
- φ = latitude do lugar [rad]; e
- δ_s = declinação solar [rad].



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

A determinação de d_r é feita de acordo com a equação:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2 \pi}{365} J \right)$$

em que J é o número do dia do ano.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

Para valores mensais, J pode ser determinado como:

$$J = \text{inteiro} (30,42 M - 15,23)$$

em que M é o número do mês.

$$\omega_s = \arccos (-\tan \varphi \tan \delta_s)$$

OBS: Na equação anterior, para o Hemisfério Norte a latitude tem sinal positivo e, para o Hemisfério Sul, tem sinal negativo.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

A declinação solar é determinada pela equação:

$$\delta_s = 0,4093 \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,405 \right)$$

O valor de Q_0 pode também ser obtido pela tabela:



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

Meses	0°	10°	20°	30°	40°	50°
Jan	15	16,4	17,3	17,8	17,9	17,5
Fev	15,5	16,3	16,5	16,4	15,7	14,7
Mar	15,7	15,5	15	14	12,5	10,9
Abr	15,3	14,2	13	11,3	9,2	7
Mai	14,4	12,8	11	8,9	6,6	4,2
Jun	13,9	12	10	7,9	5,3	3,1
Jul	14,1	12,4	10,4	8,1	5,9	3,5
Ago	14,8	13,5	12	10,1	7,9	5,5
Set	15,3	14,8	13,9	12,7	11	8,9
Out	15,4	15,9	15,8	15,3	14,2	12,9
Nov	15,1	16,2	17	17,3	16,9	16,5
Dez	14,8	16,2	17,4	18,1	18,3	18,2



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

$$ROL = \left(0,9 \frac{n}{N} + 0,1 \right) \left(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \sigma \sqrt{\left(T_{kx}^4 + T_{kn}^4 \right)}$$

em que

σ = constante de Stefan Boltzmann [$4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ m}^2 \text{ K}^{-4} \text{ d}^{-1}$];

T_{kx} = temperatura máxima diária [K];

T_{kn} = temperatura mínima diária [K]; e

e_a = pressão parcial de vapor (kPa).

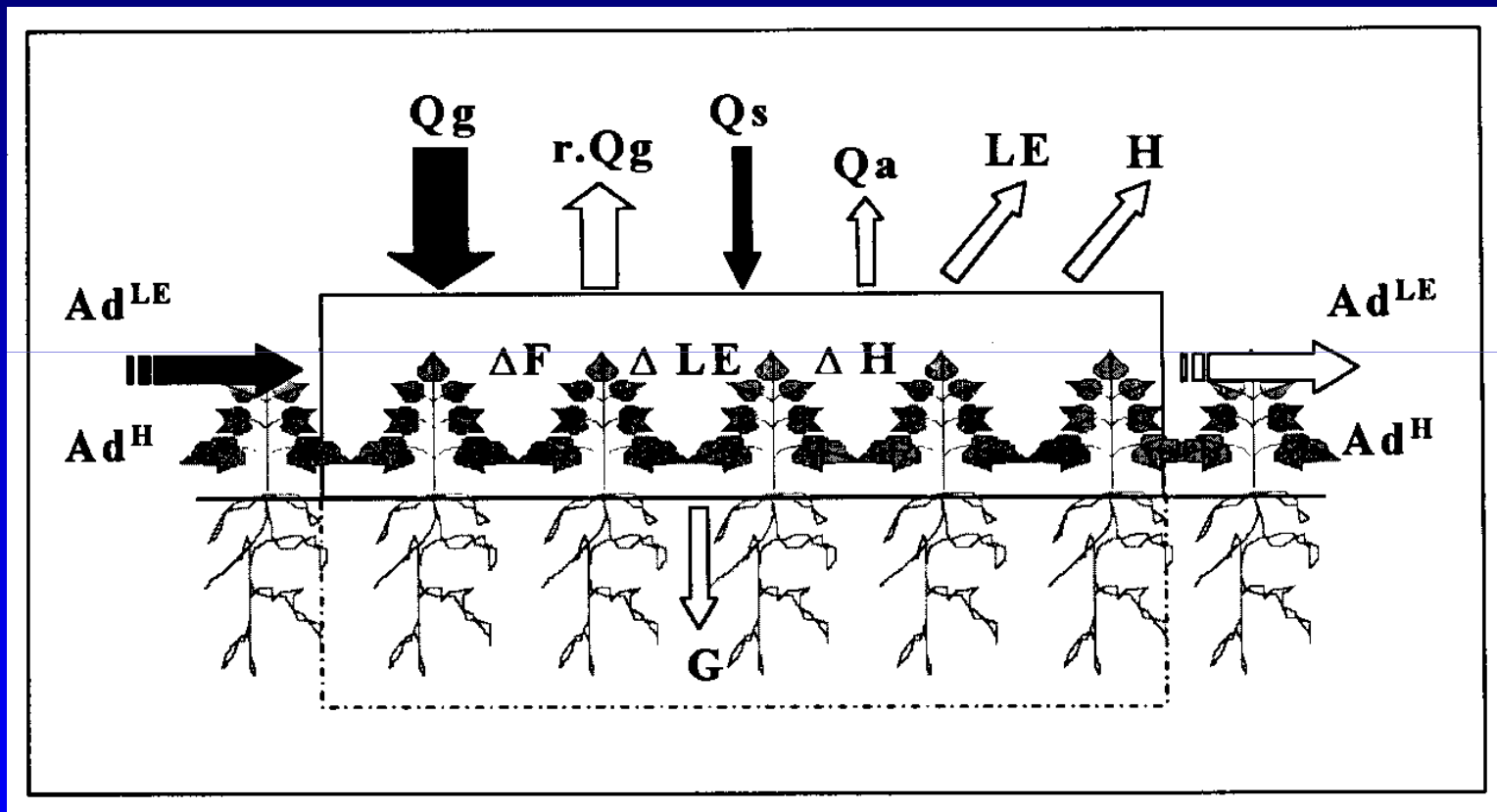


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

É justamente essa energia absorvida pelo ambiente, denominada saldo de radiação (R_n), a principal responsável pelo processo evapotranspirométrico em áreas irrigadas.

Analisando a partição do saldo de radiação, pode-se concluir que a diferença entre a energia que entra e a energia que sai de um sistema (R_n) é a energia captada ou utilizada por ele.

IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

Analizando a Figura, conclui-se que:

$$R_n \cong H + LE + G$$

em que

H = fluxo convectivo de calor sensível (aquecimento do ar e das plantas);

LE = fluxo convectivo de calor latente (evapotranspiração); e

G = fluxo de calor no solo (aquecimento do solo).



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

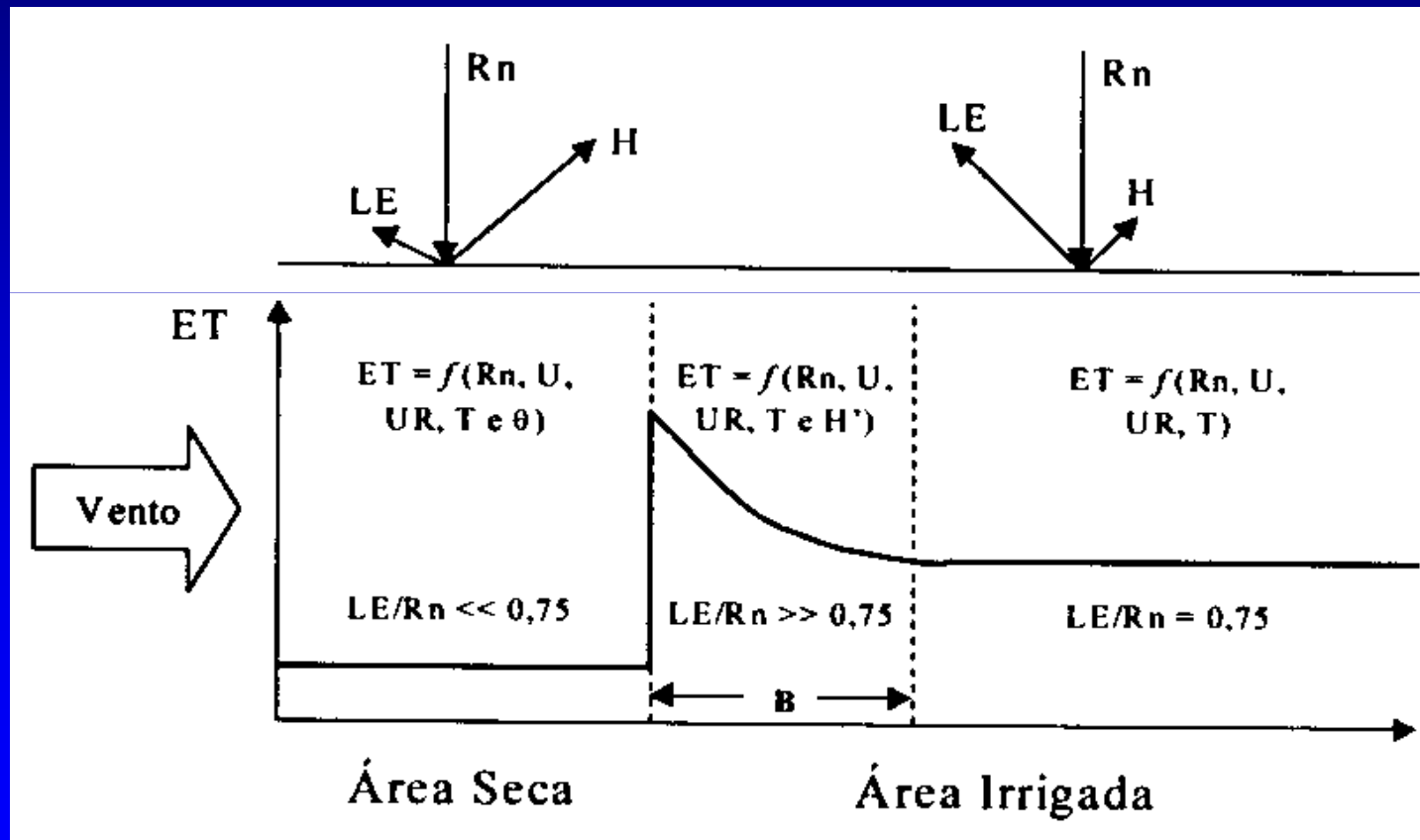
Em uma superfície vegetada bem suprida de água e sem a advecção do calor sensível de áreas adjacentes, a maior parte da energia disponível será utilizada no processo de evapotranspiração → 70 a 80% de R_n , sendo o restante distribuído entre o aquecimento do ar, do solo e das plantas.

Assim: $0,7 < \frac{LE}{R_n} < 0,8$

Analisemos a Figura:



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





2.3 - Evapotranspiração (terminologia e conceitos)

→ Condições básicas:

- existência de uma fonte de energia que pode ser a radiação solar, calor sensível da atmosfera ou da superfície evaporante.
- existência de um gradiente de concentração de vapor.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Fatores intervenientes no processo:

Conforme citado anteriormente, o processo evapotranspirométrico ocorre mediante uma disponibilidade de energia, que é conhecida como calor latente de vaporização (λ), e é função da temperatura da água.

A 20°C, λ equivale a 2,45 MJ.kg⁻¹, ou seja, são necessários 2,45 MJ de energia para evaporar 1 kg de água.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Fatores intervenientes no processo:

Como 1,0 kg de água equivale a, aproximadamente, 1,0 L ou $0,001 \text{ m}^3$, e 1,0 mm (0,001 m) corresponde a $1,0 \text{ L.m}^{-2}$, a energia de $2,45 \text{ MJ.m}^{-2}$ é capaz de evaporar uma lâmina de 0,001 m ou 1,0 mm de água.

Essa energia é necessária para alterar o estado das moléculas de água do estado líquido para vapor e é fornecida pela radiação solar direta (energia radiante) e, em menor escala, pela temperatura do ar (calor sensível).



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Fatores intervenientes no processo:

- Temperatura da superfície
- Temperatura e umidade do ar. Aumentando a temperatura do ar, e_s aumenta, diminuindo a umidade relativa (efeito indireto).
 - Portanto, quanto $>$ temperatura $>$ e_s (maior a capacidade do ar conter água) e menor UR.
- Vento



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Evaporação → Processo físico no qual a água na fase líquida é convertida em vapor, e removida da superfície evaporante

↓
Para a evaporação de 1kg de água (20°C) são necessários 2,45MJ.

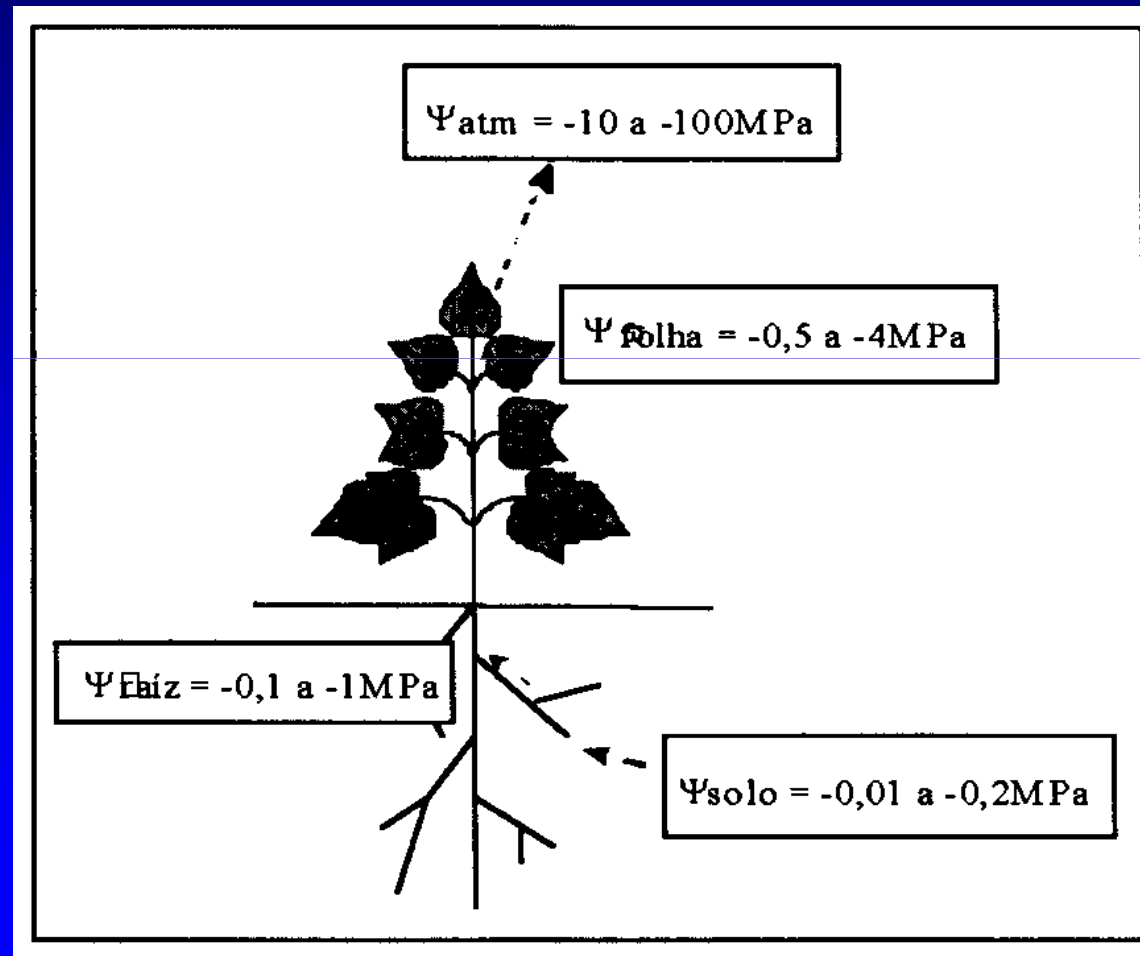


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Transpiração → Processo pelo qual ocorre perda de água, na forma de vapor, pelas plantas.

↙
Predominantemente através das folhas, a partir das paredes celulares (estômatos). A água é conduzida até as folhas pelo sistema condutor, obedecendo um gradiente de potencial.

IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Evapotranspiração →

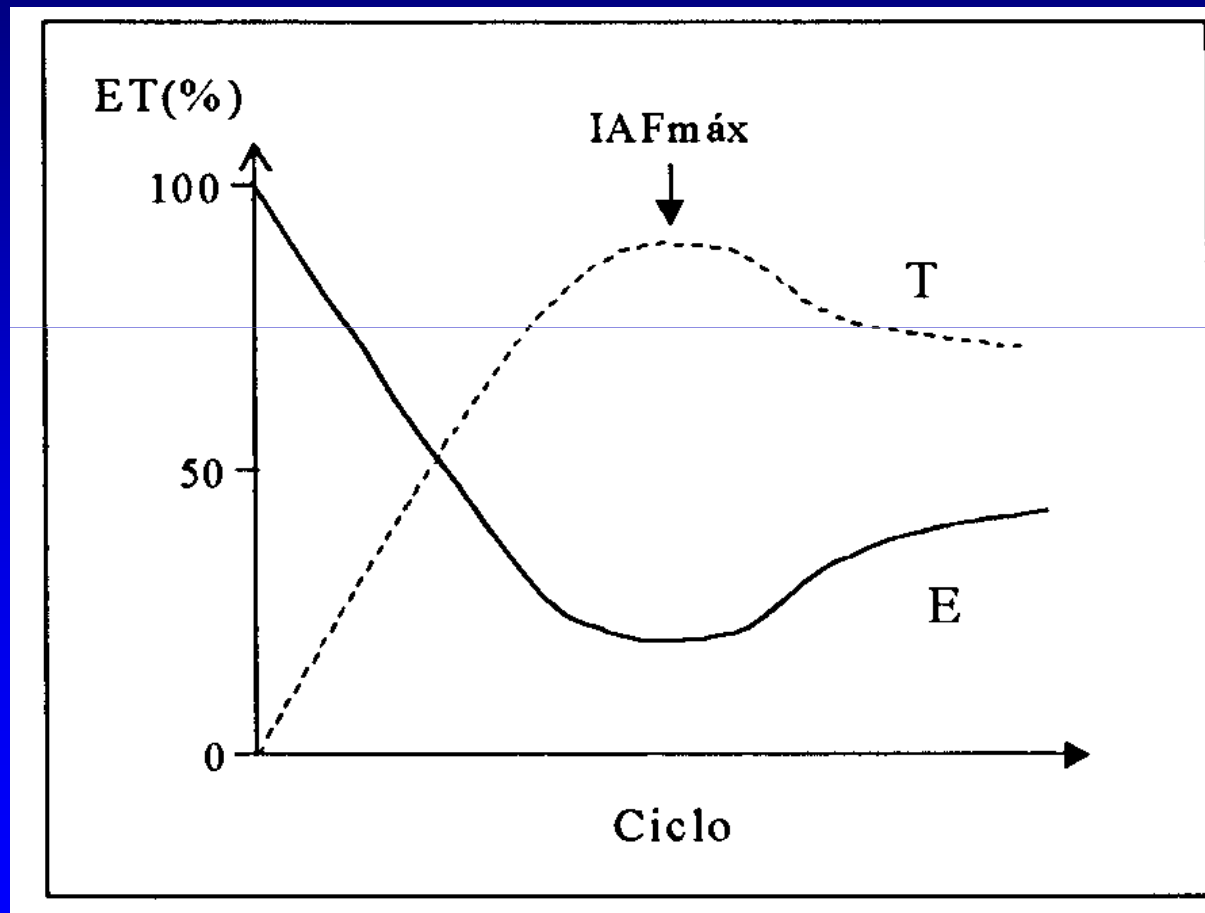
Processo simultâneo de transferência de água para atmosfera, por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas.



A partição entre evaporação e transpiração irá depender da radiação solar que atinge a superfície e também da cobertura vegetal (espaçamento e área foliar).



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

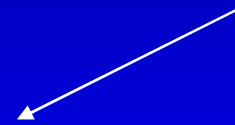




IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Evapotranspiração

→ Evapotranspiração de referência (E_{To})



É a taxa de evapotranspiração que ocorre em uma superfície de referência, definida como: extensa superfície vegetada com grama (8 a 15 cm de altura), em crescimento ativo, cobrindo toda a extensão da área e bem suprida de água.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Evapotranspiração

→ Evapotranspiração de cultura (ET_c ou ET_m)

É a taxa de evapotranspiração que ocorre em uma cultura em qualquer fase de seu desenvolvimento, desde a semeadura/plantio até a maturação, sem a atuação de fatores que possam comprometer o seu desenvolvimento.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Evapotranspiração



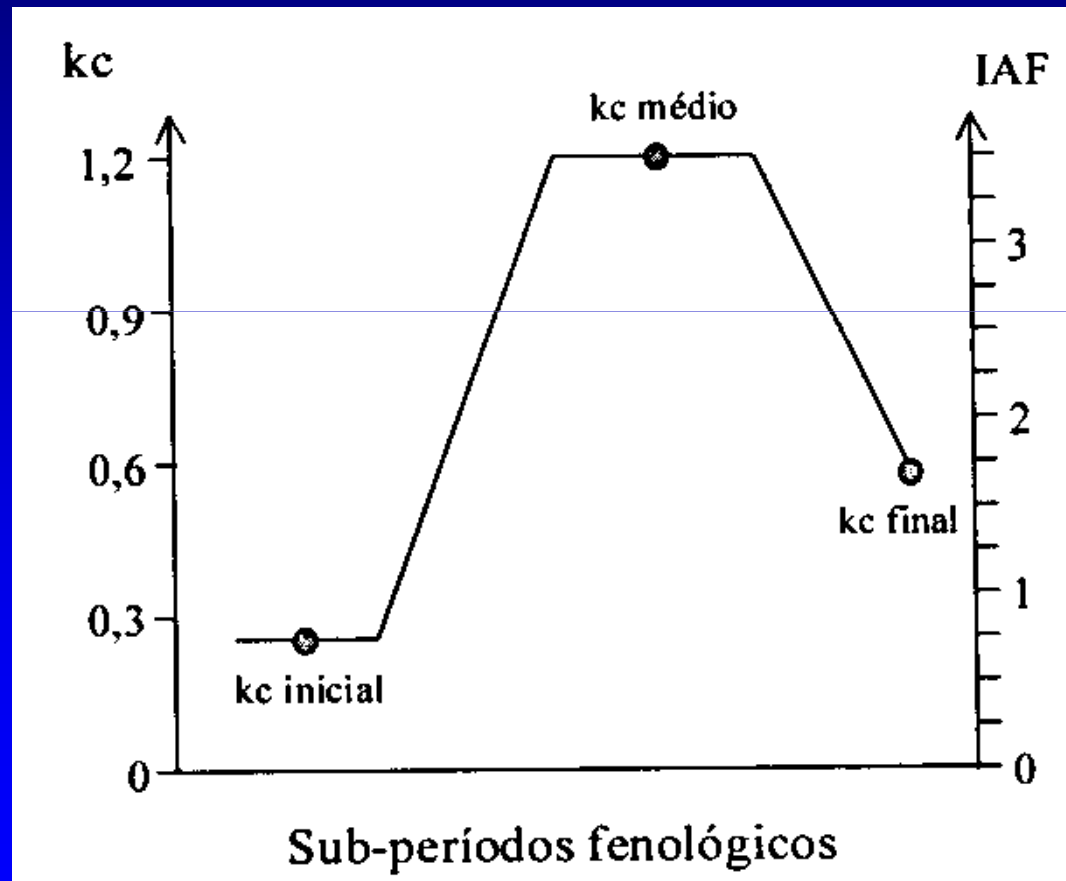
$$ET_c = ET_o * k_c$$



É a taxa de evapotranspiração que ocorre em uma cultura em qualquer fase de seu desenvolvimento, desde a semeadura/plantio até a maturação, sem a atuação de fatores que possam comprometer o seu desenvolvimento.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Evapotranspiração

→ Evapotranspiração de cultura ajustado
(ET_c adj)

É a taxa de evapotranspiração que ocorre em uma cultura sem que a mesma esteja sob condições padrões.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Evapotranspiração



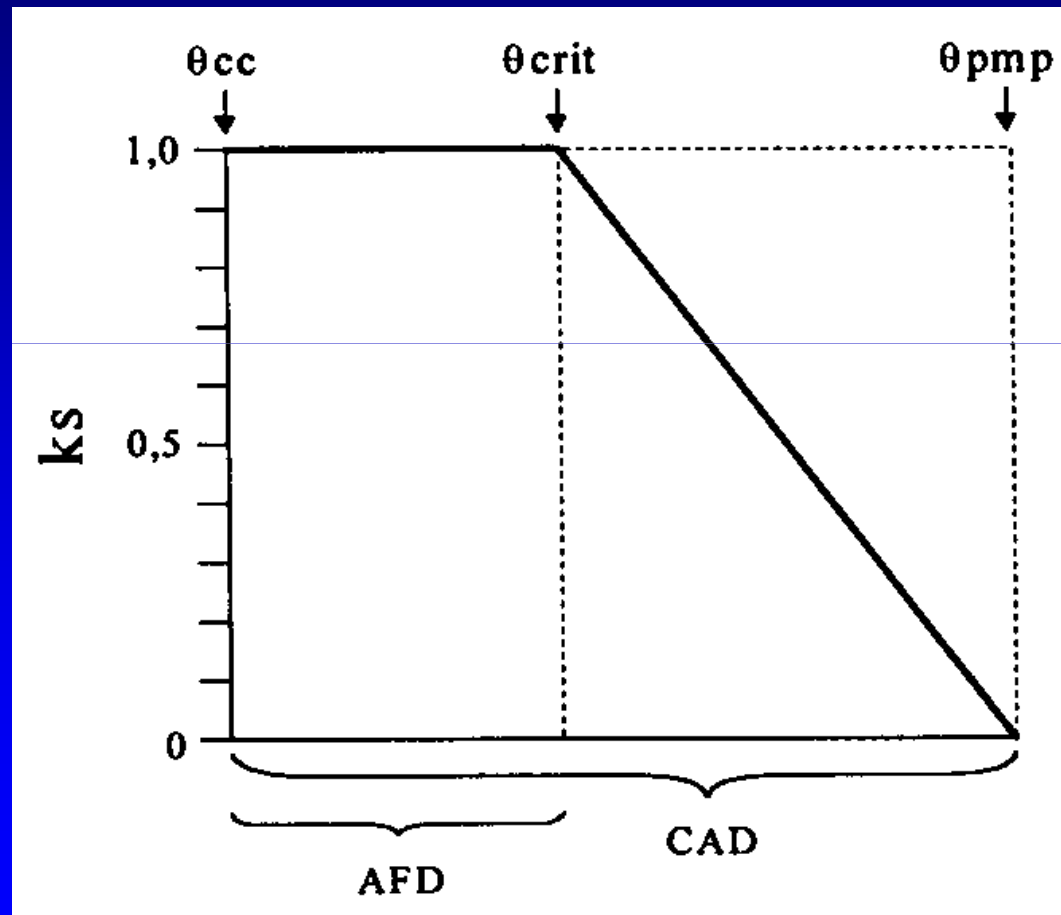
$$ETc_{adj} = ET_o * k_c * k_s$$



É a taxa de evapotranspiração que ocorre em uma cultura sem que a mesma esteja sob condições padrões.

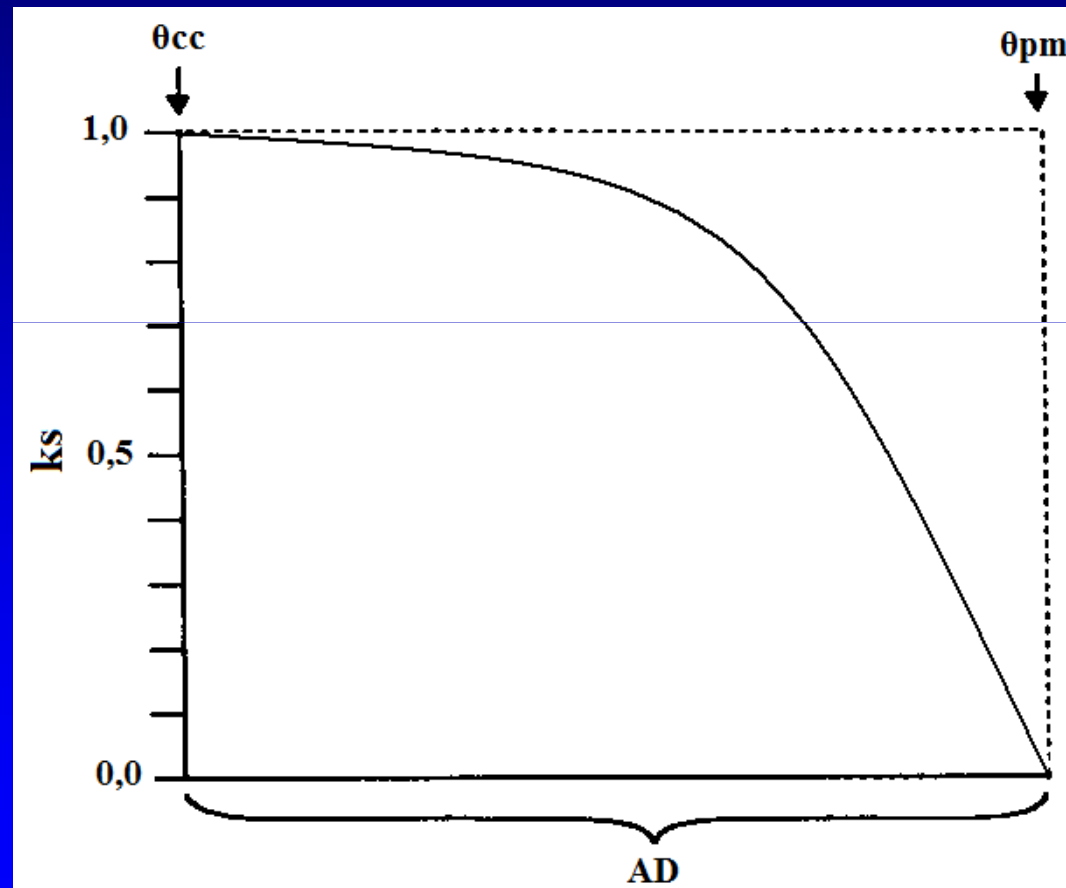


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA



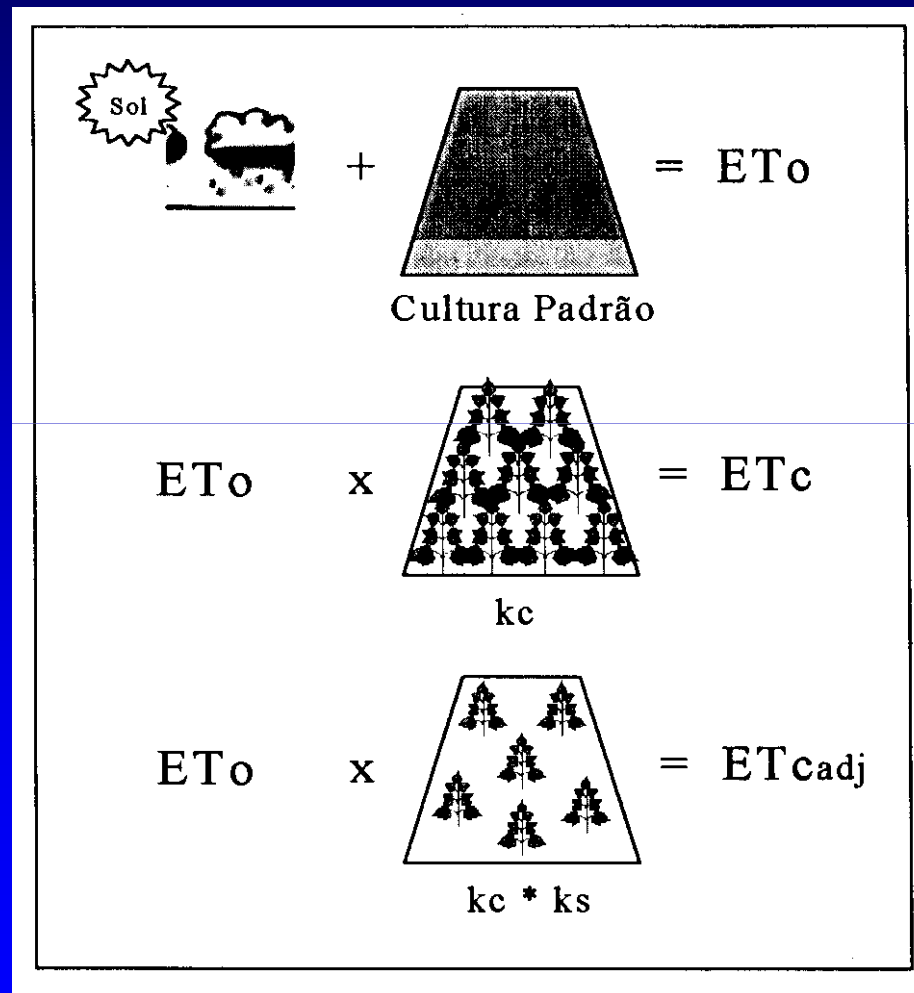


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

$$k_s = \frac{\ln((\theta_i - \theta_{pm}) + 1,0)}{\ln((\theta_{cc} - \theta_{pm}) + 1,0)}$$

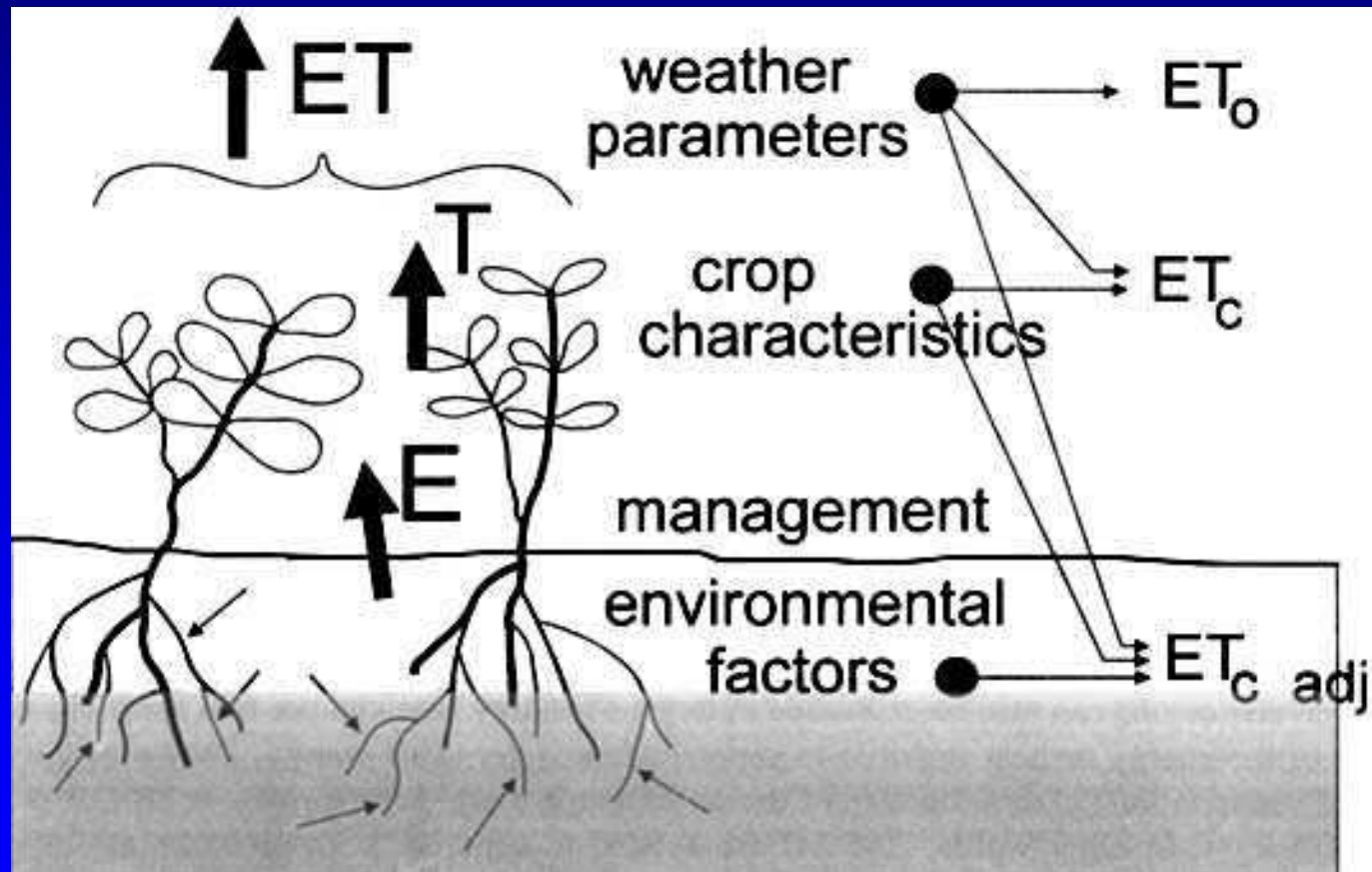
$$k_s = \frac{\ln(LAA + 1,0)}{\ln(AD + 1,0)}$$

IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

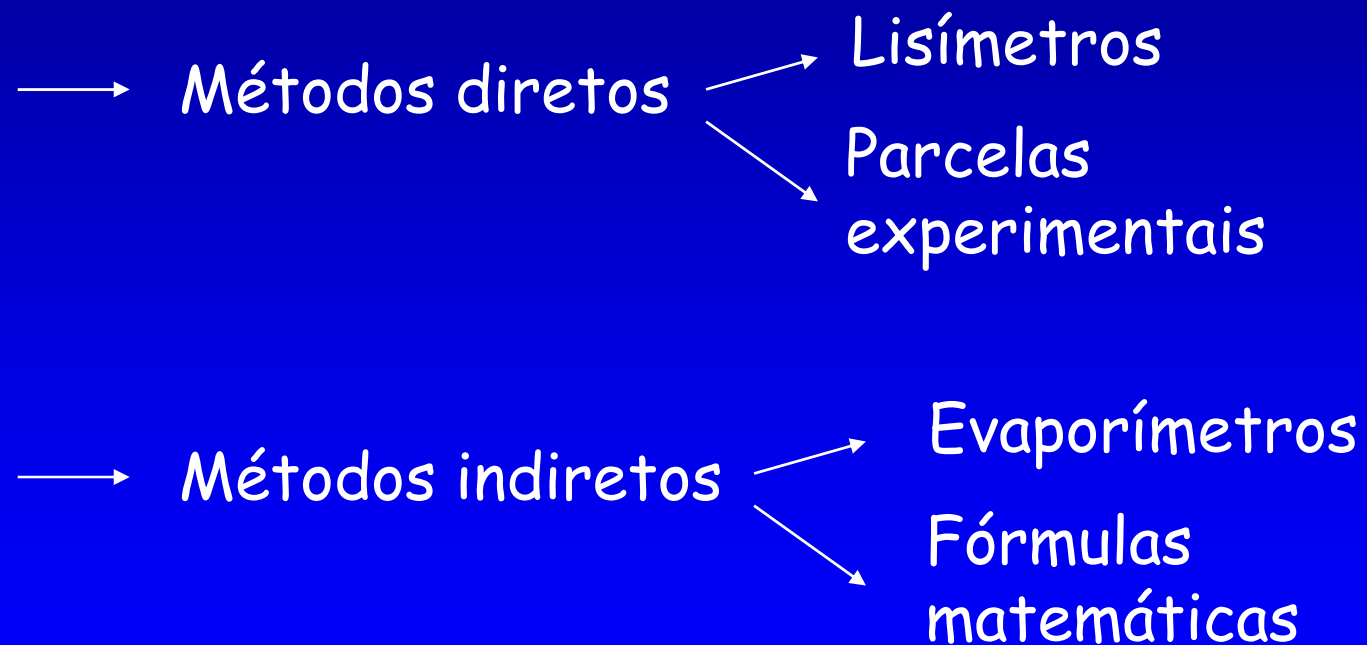
→ Fatores que afetam a evapotranspiração

- Fatores climáticos (R_n , T , U_R , U)
- Fator planta (espécie, albedo, IAF, altura, prof. raiz)
- Fatores de manejo e solo (espaçamento/densidade de plantio, tipo de solo, disponibilidade de água, impedimentos físico/químico)

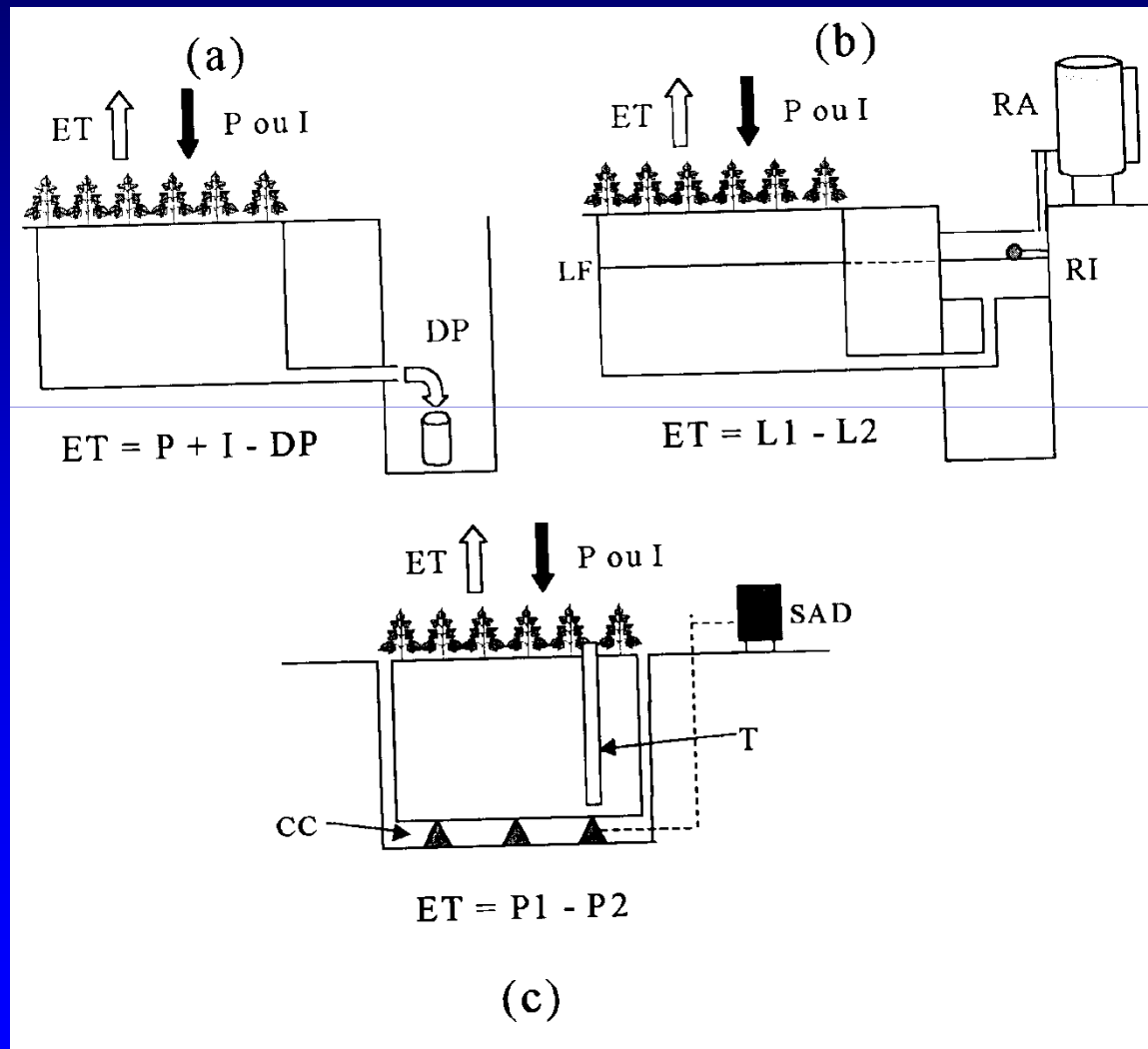


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Medida da evapotranspiração

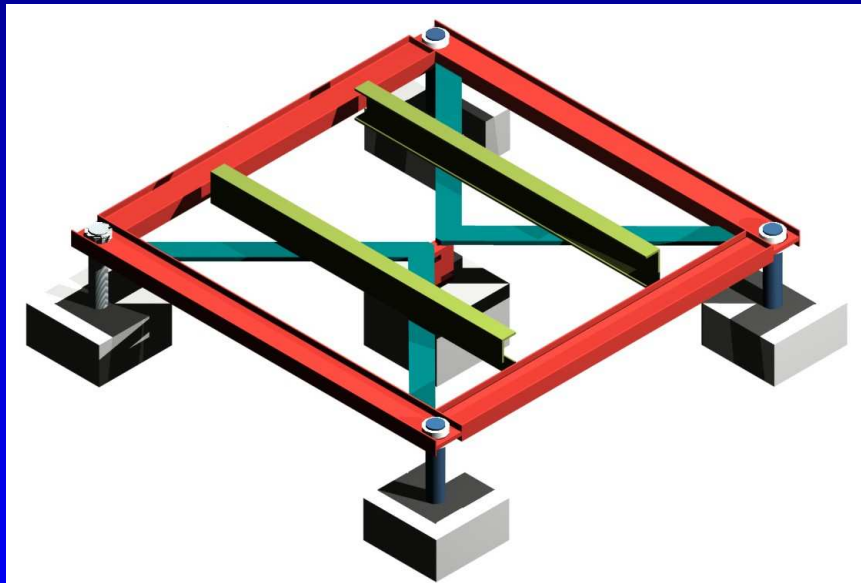


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA



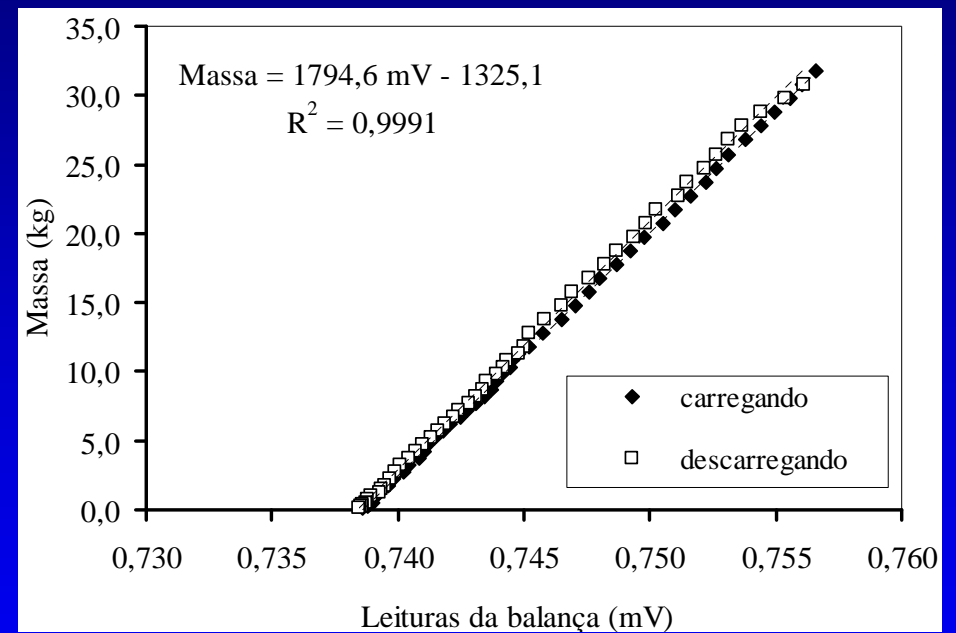
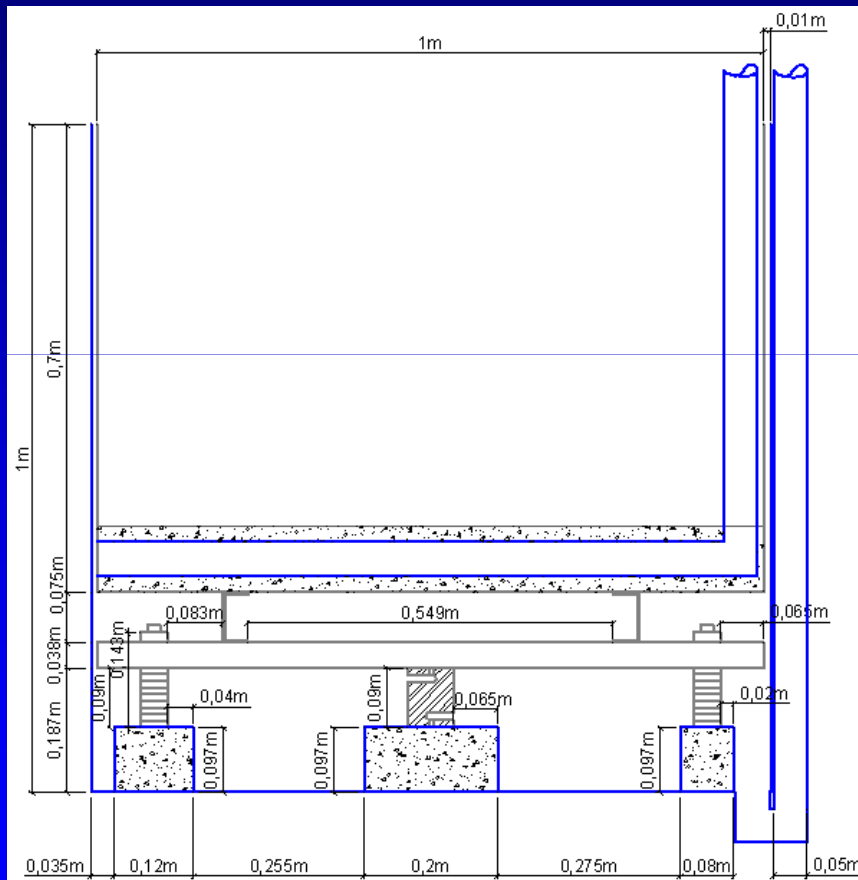


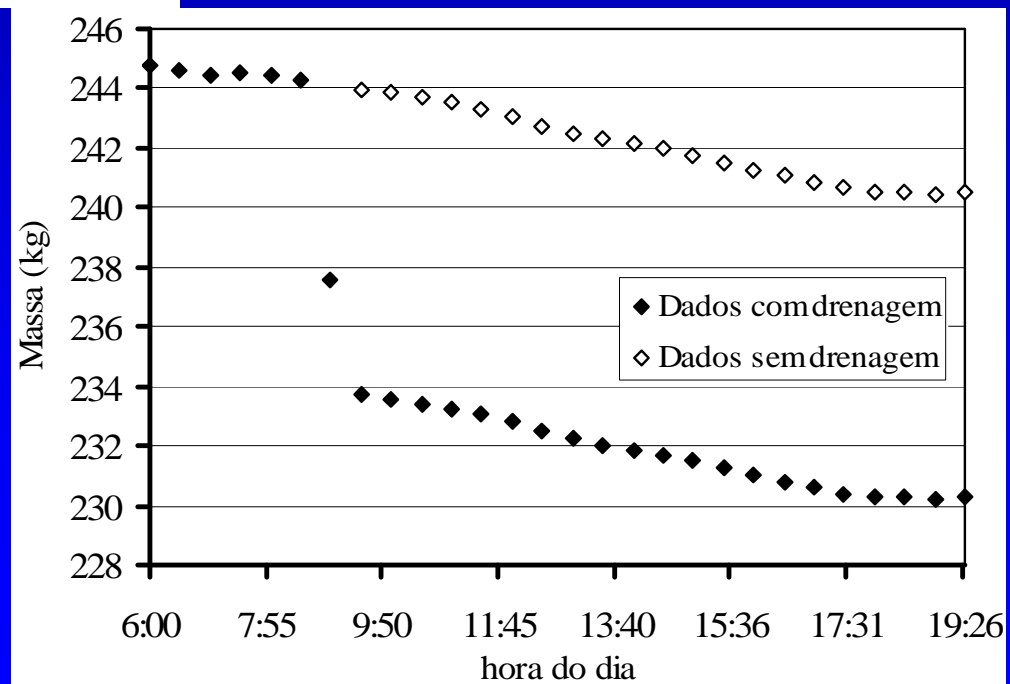
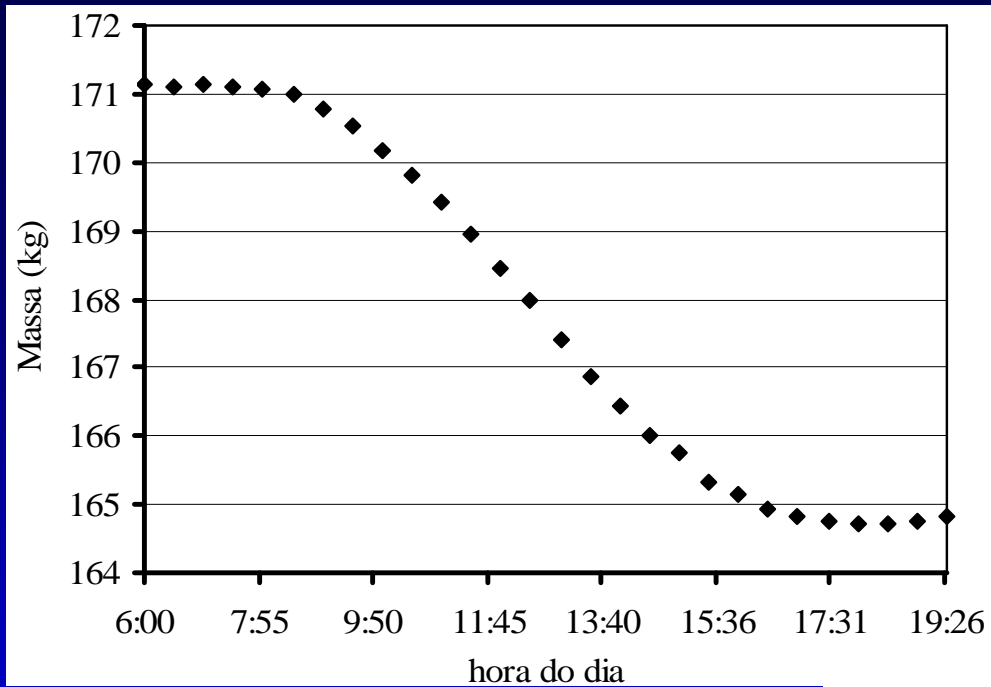
IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA







IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Exemplo de aplicação

Em um determinado lisímetro de área $1,2 \text{ m}^2$ e $1,0 \text{ m}$ de profundidade, houve uma variação de umidade de $0,3420 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para $0,3012 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, num período de 10 dias. Neste mesmo intervalo, houve duas irrigações de $25,0 \text{ mm}$, uma precipitação de $9,2 \text{ mm}$ e uma drenagem de 23 L . Determinar a evapotranspiração da cultura no período e o correspondente coeficiente cultural, sabendo que a E_{To} foi de $8,2 \text{ mm dia}^{-1}$.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Método direto → Balanço de água no solo

O método consiste em monitorar os fluxos de entrada e saída de água na zona radicular, durante um determinado tempo. A irrigação (I) ou chuva (P) representam as entradas de água no sistema, sendo que parte dessa água pode escoar superficialmente para fora da área (ES) ou percolar abaixo da zona radicular (PP).



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Método direto → Balanço de água no solo

Além disso, pode haver ascensão capilar (AC), representando entrada de água no sistema, e movimentação horizontal da água na região subsuperficial (ΔFS). Finalmente, após o monitoramento de todos os fluxos de água possíveis (entradas e saídas), a evapotranspiração (ET) pode ser avaliada em função da variação do conteúdo de água armazenado (ΔARM) durante o período de tempo. Assim:



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Método direto

→ Balanço de água no solo

$$ET = I + P - ES - PP + AC \pm \Delta FS \pm \Delta ARM$$

$$ET = I + P \pm \Delta ARM$$

Em condições de campo, normalmente ΔARM é medida por meio da determinação da umidade do solo. Em sistemas com turno de rega baixo (1 ou 2 dias) e quando não há precipitação, a ΔARM representa a lâmina de irrigação e, conseqüentemente, a própria ETc.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Métodos indiretos → Evaporímetros

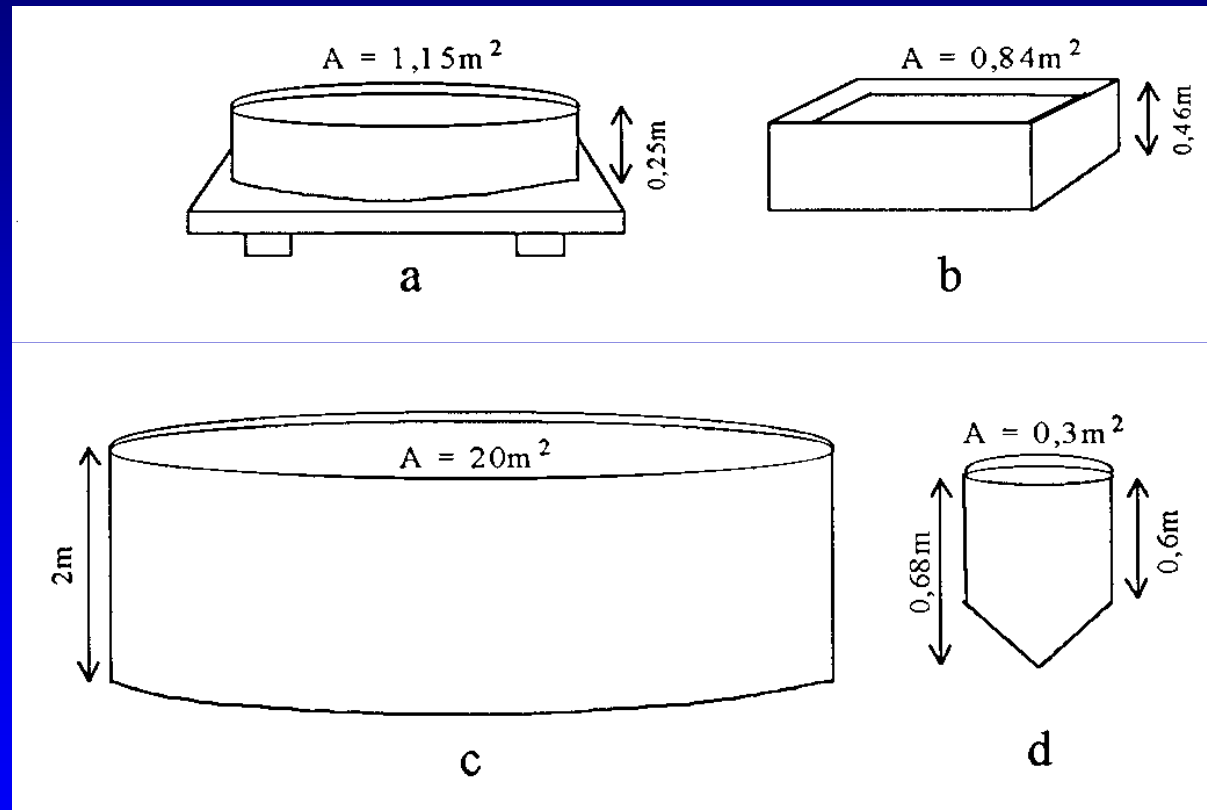
Tanque Classe A

Área de 1,15 m², instalado sobre a superfície, em um estrado de madeira

Facilidade de manuseio, mas grande dependência de fatores meteorológicos (radiação e vento)

→ $ET_o = EV * k_p$

IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA



(a) Tanque Classe A; (b) Colorado; (c) 20 m²; (d) GGI3000

Velocidade do Vento (km d ⁻¹)	Posição do tanque R (m)	Exposição A Tanque circundado por grama			Exposição A Tanque circundado por solo nu		
		UR média(%)			UR média(%)		
		Baixa < 40%	Média 40 - 70%	Alta > 70%	Baixa < 40%	Média 40 - 70%	Alta > 70%
Leve < 175	1	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
Moderado 175-425	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 700	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Métodos indiretos → Fórmulas matemáticas

- Hargreaves

$$ET_o = 0,0023 R_a (T + 17,8) \sqrt{T_{\max} - T_{\min}}$$

- Penman-Monteith - FAO

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \frac{(R_n - G)}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \frac{900}{T + 273,15} U_2 \text{ DPV}$$



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$];

λ = calor latente de evaporação [MJ kg^{-1}].

r_c = resistência do dossel da planta [s m^{-1}];

r_a = resistência aerodinâmica [s m^{-1}];

R_n = saldo de radiação à superfície [$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$];

G = fluxo de calor no solo [$\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$];

γ = constante psicrométrica [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$];

T = temperatura média do ar [$^\circ\text{C}$];

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura [m s^{-1}];

DPV = déficit de pressão de vapor [kPa]; e

900 = fator de transformação de unidades [$\text{kJ}^{-1} \text{kg K}$].



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- Declividade da curva de pressão de vapor (δ):

$$\delta = \frac{4098 e_a}{(T + 237,3)^2}$$

- Calor latente de evaporação (λ):

$$\lambda = 2,501 \quad 2,361 \times 10^3 T$$



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- Constante psicrométrica (γ):

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda}$$

- em que P [kPa] é pressão atmosférica à altitude Z [m], calculada pela equação:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 Z}{293} \right)^{5,25}$$



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

- Déficit de pressão de vapor (DPV) :

$$DPV = e_s - e_a$$



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T}{T+237,3}\right)}$$

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2}$$

$$e_a = e^{\circ}(T_{po}) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_{po}}{T_{po} + 237,3}\right)$$



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{\min}) \cdot \frac{UR_{\max}}{100} + e^{\circ}(T_{\max}) \cdot \frac{UR_{\min}}{100}}{2}$$

$$e_a = e^{\circ}(T_{\min}) \cdot \frac{UR_{\max}}{100}$$

$$e_a = \frac{UR_{\text{med}}}{100} \cdot \left[\frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2} \right]$$



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

-Velocidade do vento (U_2):

$$U_2 = \frac{4,868}{\ln(67,75 z - 5,42)} U_z$$

-Fluxo de calor no solo (G):

$$G = 0,38 (T_n - T_{n-1})$$



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

-Resistência do dossel da planta:

Considerando a grama como cultura de referência, o valor de r_c foi parametrizado para uma altura da cultura de 0,12 m. Dessa forma, seu valor é 69 s m^{-1} .

-Resistência aerodinâmica:

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



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Unidades

A taxa evapotranspirométrica é normalmente expressa em lâmina por unidade de tempo. Sabendo que lâmina é a razão de volume por área, a evapotranspiração representa o volume de água perdido em uma determinada área durante um determinado tempo.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Unidades

Como um hectare (ha) é igual a 10.000 m^2 e $1,0 \text{ mm}$ é igual a $0,001 \text{ m}$, $1,0 \text{ mm}$ de água evapotranspirada equivale a $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Como citado anteriormente, a evapotranspiração pode também ser expressa em energia por unidade de área.



IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Unidades

Unidades	Lâmina diária (mm)	Volume por unidade de área		Energia por unidade de área
		$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$	$\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$
$1,0 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$	1,0	10,0	0,116	2,45
$1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$	0,1	1,0	0,012	0,245
$1,0 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$	8,64	86,4	1,0	21,17
$1,0 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$	0,408	4,082	0,047	1,0

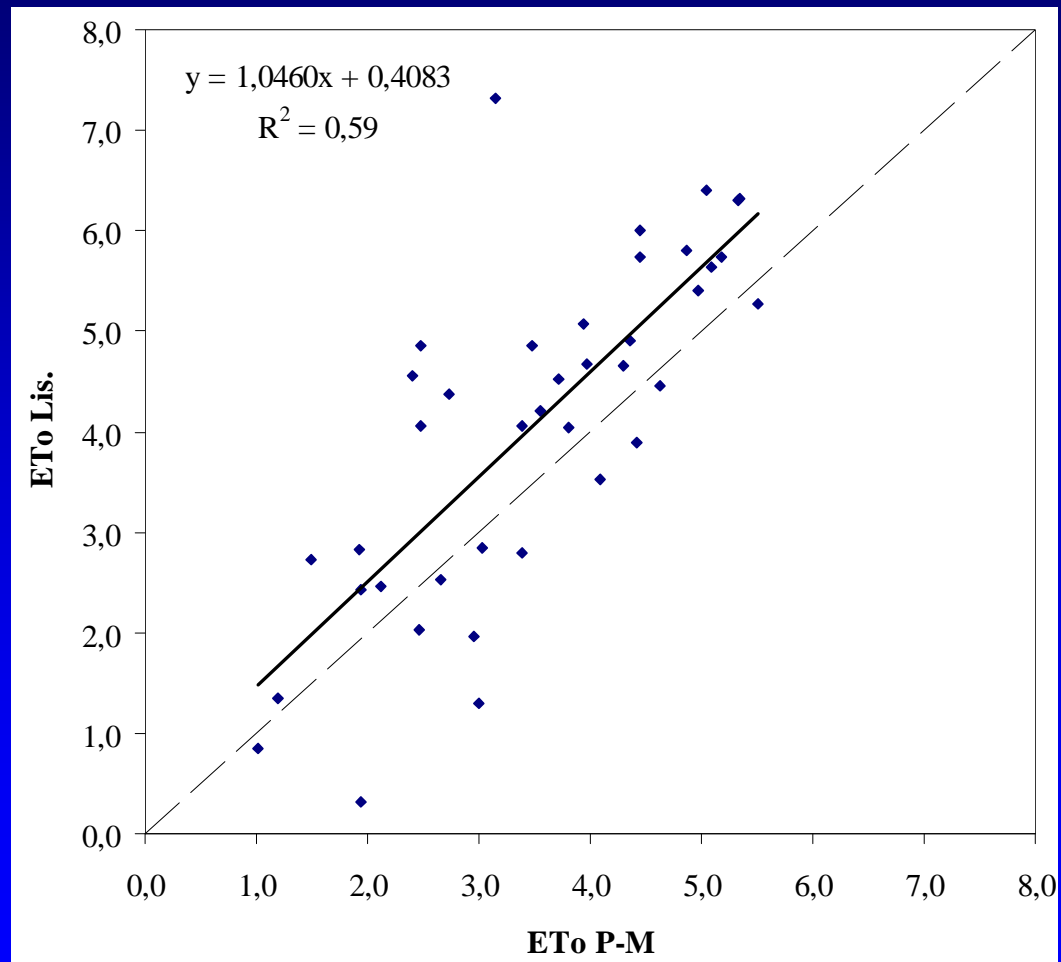


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA

→ Comparação com medidas de ETo

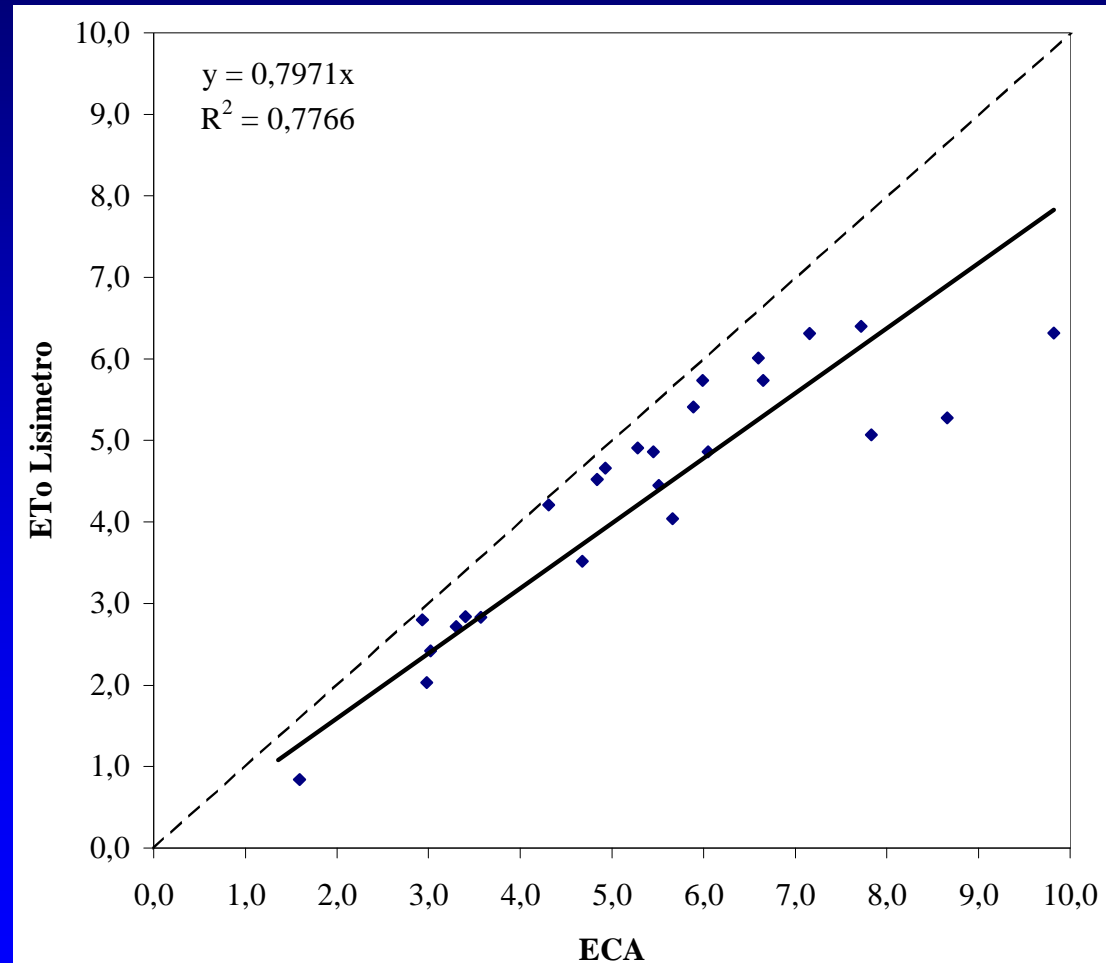


IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





IT-1101 - AGRICULTURA IRRIGADA





UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

Professor Daniel Fonseca de Carvalho
ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO

Instituto de Tecnologia - Depto. de Engenharia
BR 465, km 7 - Seropédica-RJ - 23.890-000
(21) 2682-2864
e-mail: carvalho@ufrrj.br
<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/daniel>