



UC Necessidades hídricas e sistemas de rega

Aula 3

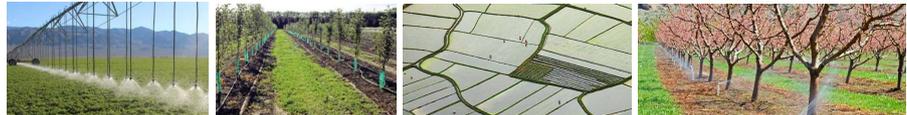
2. Necessidades hídricas das culturas

2.5 Evapotranspiração para condições não padrão;

2.5.1 stress hídrico;

2.5.2 Depleção de água no solo e coeficiente de stress hídrico, ks

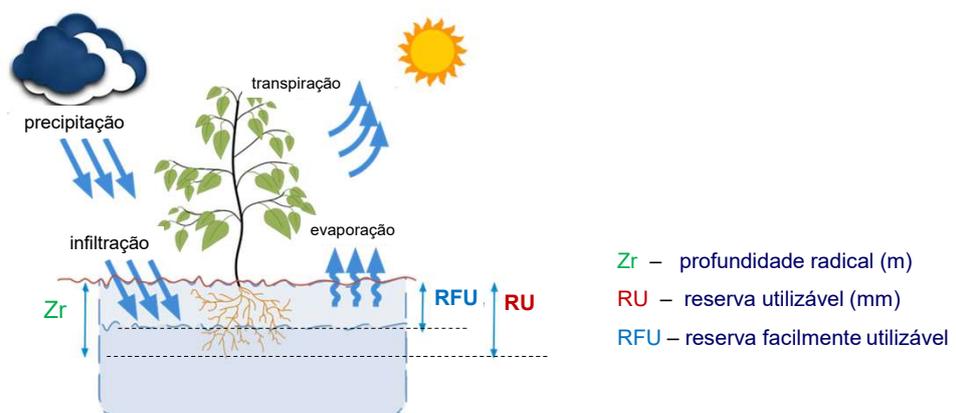
2.5.2 Relação stress hídrico - produção



2.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL PARA CONDIÇÕES NÃO PADRÃO: EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL AJUSTADA, $ET_{c,ADJ}$

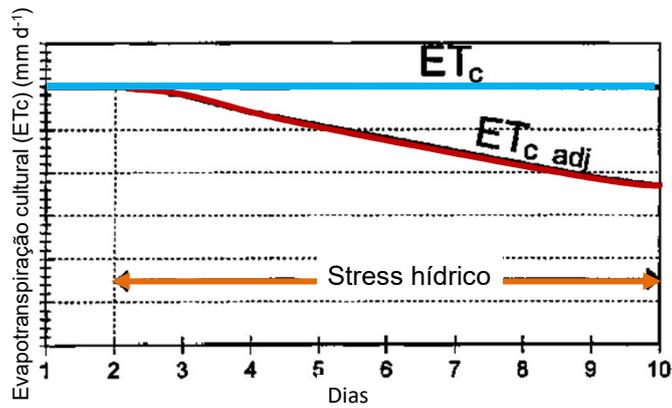
2.5.1. Stress hídrico

- Ocorre quando o armazenamento de água no solo é inferior à reserva facilmente utilizável, RFU;
- Se $ET_c < ET_c$ em condições padrão; ET_c denomina-se $ET_{c,adj}$



- O coeficiente K_s é utilizado para reduzir o valor de K_c

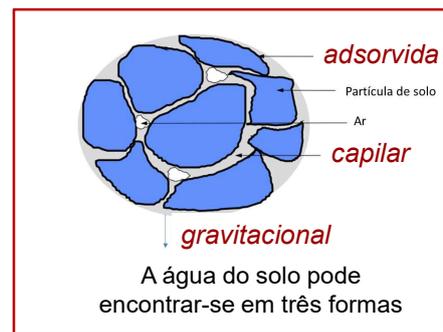
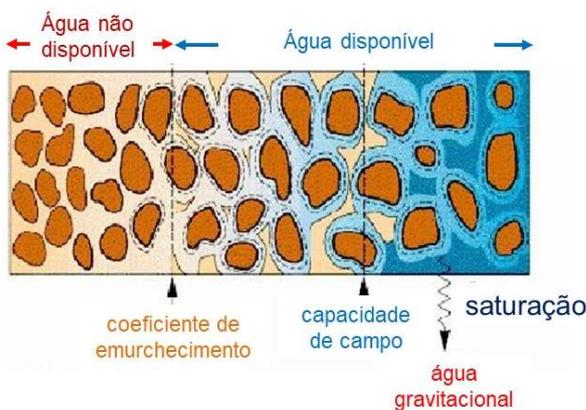
$$ET_{c \text{ adj}} = K_s K_c ET_0$$



➤ Disponibilidade de água no solo

Slide de revisão

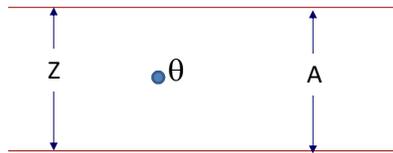
- Na ausência de abastecimento de água, o teor de água na zona radical diminui como resultado da absorção radical;
- À medida que a extração de água progride, a água remanescente é mantida nos poros de menor diâmetro, aumentando a força com que é retida e dificultando a extração da planta;



- Abaixo do CE, a água encontra-se adsorvida na superfície das partículas com tal força que as plantas não a conseguem utilizar

Teor de água no solo, θ , e Armazenamento de água no solo, A

Camada de solo de espessura Z



θ é o teor de água no solo (cm^3 água por cm^3 de solo) medido num local que se considera representativo de toda a camada de solo

θ é uma concentração de água no solo

O Armazenamento, A é uma quantidade de água no solo, calculada a partir do θ e da espessura da camada

Exemplo: Num solo, o teor de água medido aos 15 cm de profundidade com recurso a uma sonda capacitiva foi $0.20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Qual a quantidade de água armazenada numa camada de solo de espessura 30 cm?

$$A \text{ (mm)} = 0.2 \times 0.3 \times 1000 = 60 \text{ mm}$$

$$A \text{ (mm)} = \theta \times Z \times 1000$$

sendo:

θ o teor de água volumétrico ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);
 Z a espessura da camada (m)

5

➤ Capacidade de um solo reter água disponível para as plantas

O teor de água à capacidade do campo (θ_{CC} , $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) é o teor de água que um solo bem drenado apresenta, ou seja, é o teor de água existente no solo quando a drenagem diminuiu marcadamente.

É o teor de água a **pF 2.5** ou a **31 kPa**.



O teor de água no coeficiente de emurchecimento (θ_{CE} , $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) é o teor de água abaixo do qual as plantas não são capazes de extrair a água do solo e por isso vão murchar permanentemente.

É o teor de água a **pF 4.2** ou **1550 kPa**.

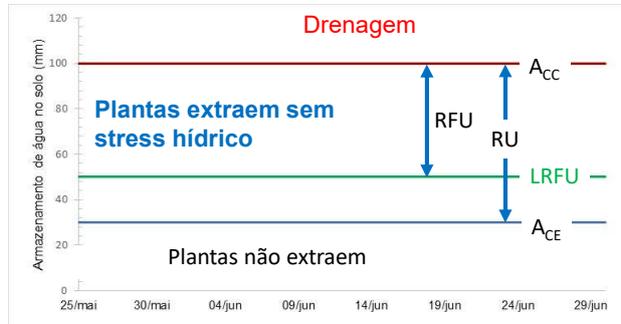
$$RU \text{ (mm)} = (\theta_{CC} - \theta_{CE}) \times Z_r \times 1000$$

sendo:

θ_{CC} e θ_{CE} os teores de água volumétricos à capacidade de campo e no coeficiente de emurchecimento ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);
 Z_r a profundidade radical (m)

6

Embora as plantas consigam extrair água do solo até ao CE, **existe um valor mínimo de teor de água (ou armazenamento) abaixo do qual o fazem com tanto custo que há stress hídrico;**



p - parâmetro de gestão da rega, função da sensibilidade da cultura ao stress (adim) ($p < 1$)

$$RFU = RU \times p$$

RFU traduz um **volume ou armazenamento (A)** de água no solo, facilmente disponível para as plantas

$$LRFU = RU - RFU = RU - RU \times p = RU \times (1 - p)$$

LRFU traduz um **limite inferior** da zona da RFU

7

Table 22 FAO 56

p é função do poder evaporativo da atmosfera, da cultura e do solo.

Normalmente varia entre:

- **0.3** para plantas com raízes pouco profundas e $ET_c > 8 \text{ mm dia}^{-1}$,
- **0.7** para plantas com raízes profundas e $ET_c < 3 \text{ mm dia}^{-1}$.

- $p = p_{\text{tab}} + 0.04 \times (5 - ET_c)$

Crop	Maximum Root Depth ¹ (m)	p $ET_c = 5 \text{ mm d}^{-1}$
a. Small Vegetables		
Broccoli	0.4-0.6	0.45
Brussel Sprouts	0.4-0.6	0.45
Cabbage	0.5-0.8	0.45
Carrots	0.5-1.0	0.35
Cauliflower	0.4-0.7	0.45
Celery	0.3-0.5	0.20
Garlic	0.3-0.5	0.30
Lettuce	0.3-0.5	0.30
Onions - dry	0.3-0.6	0.30
- green	0.3-0.6	0.30
- seed	0.3-0.6	0.35
Spinach	0.3-0.5	0.20
Radishes	0.3-0.5	0.30
b. Vegetables – Solanum Family (Solanaceae)		
Egg Plant	0.7-1.2	0.45
Sweet Peppers (bell)	0.5-1.0	0.30
Tomato	0.7-1.5	0.40
c. Vegetables – Cucumber Family (Cucurbitaceae)		
Cantaloupe	0.9-1.5	0.45
Cucumber – Fresh Market	0.7-1.2	0.50
– Machine harvest	0.7-1.2	0.50
Pumpkin, Winter Squash	1.0-1.5	0.35

8

Exercício 4

- a) Determine a RU e a RFU das culturas do morango e da batata doce para solo franco arenoso;
b) Represente graficamente RU, RFU e LRFU

Dados**Morango:**

$$Z_r = 0.20 \text{ m}$$

$$p = 0.25$$

Solo:

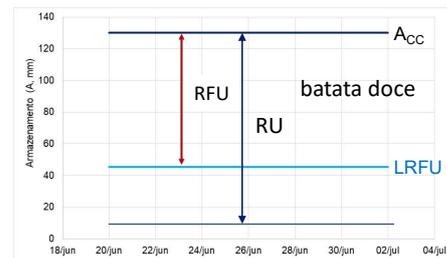
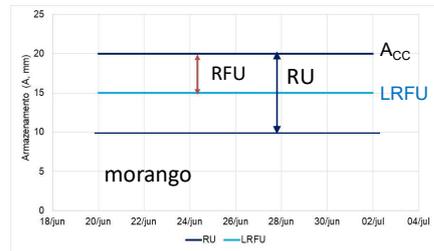
$$\theta_{CC} = 0.2 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$\theta_{CE} = 0.1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

Batata doce:

$$Z_r = 1.3 \text{ m}$$

$$p = 0.65$$

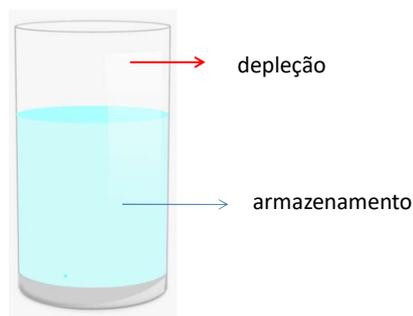


9

2.5.2. Depleção de água no solo e coeficiente de stress hídrico, Ks

Para além de ser expressa em armazenamento (A, mm), a água no solo pode também ser expressa em termos de depleção (Dp, mm) em relação à CC.

- Na capacidade de campo a depleção é zero => $K_s = 1$
- À medida que a água no solo diminui devido à evapotranspiração, a depleção, Dp, _____
- Quando a depleção, Dp é > que a RFU ocorre stress hídrico => $K_s < 1$



10

➤ Quando $D_p < RFU$

$$K_s = 1$$

➤ Quando $D_p > RFU$

Reserva ou armazenamento actual

$$K_s = \frac{RU - D_p}{RU - RFU} = \frac{RU - D_p}{(1 - p) RU}$$

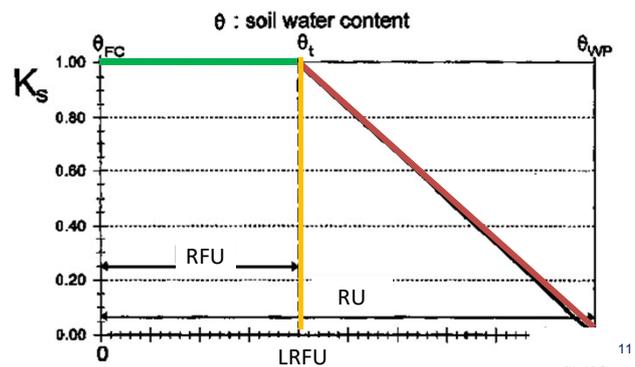
sendo:

K_s o coeficiente de stress hídrico, dependente da água disponível no solo (0– 1);

D_p diferença entre a reserva de água à capacidade de campo e a reserva de água actual (mm);

RU a reserva utilizável de água no solo (mm);

p a fração de RU que pode ser utilizada sem que a planta entre em stress hídrico.



Exercício 5

Determine, para uma cultura de tomate num solo limoso ($\theta_{CC} = 0.32$ e $\theta_{CE} = 0.12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$):

- RU, RFU e LRFU; (160 mm; 64 mm; 96 mm)
- Determine a depleção de água no solo nos dias em que o armazenamento (A , mm) de água no solo é 100 e 50 mm. (60 e 110 mm)
- Em algum desses dias há stress hídrico? Justifique (no 2º dia)
- De acordo com a alínea anterior determine o coeficiente de stress hídrico; (1; 0.52)
- Determine a evapotranspiração para os dois dias da alínea c), sendo a $ET_0 = 6 \text{ mm d}^{-1}$. (7.2 e 3.75 mm)

Dados

cultura		
Zr	0,8	m
p	0,40	
Kc	1,20	

Exercício 6

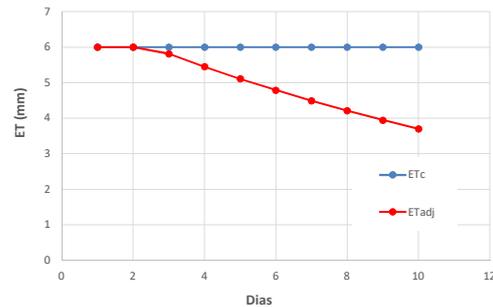
Estime o efeito do stress hídrico sobre a evapotranspiração de uma cultura de tomate plenamente desenvolvida ($Z_r = 0.8$ m, $p = 0.40$ e $K_c = 1.2$) cultivada num solo limoso ($\theta_{CC} = 0.32$ e $\theta_{CE} = 0.12$ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) durante os próximos 10 dias, sendo D_p inicial = 55 mm, não sendo esperadas chuvas ou regas.

A ET_o esperada para o decénio seguinte é 5 mm dia^{-1} . Apresente graficamente a evolução temporal da ET_c e da ET_{adj}

Solução:

Dias	ET_o mm	D_p mm	K_s	ET_{adj} mm
1	5	55.0	1.00	6.0
2	5	61.0	1.00	6.0
3	5	67.0	0.97	5.8
4	5	72.8	0.91	5.4
5	5	78.3	0.85	5.1
6	5	83.4	0.80	4.8
7	5	88.2	0.75	4.5
8	5	92.6	0.70	4.2
9	5	96.9	0.66	3.9
10	5	100.8	0.62	3.7

RU = 160 mm RU=64 mm LRFU = 96 mm



13

2.5.3 Relação produção/stress hídrico

Qual é a consequência da diminuição da ET_c sobre a produção esperada?

Redução relativa da ET	→	Redução relativa da produção
$1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c}$		$1 - \frac{Y_a}{Y_m}$

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c} \right)$$

Modelo de Stewart

K_y fator de redução da produção da cultura, que descreve a redução relativa da produção de acordo com a redução da ET_c causada pela escassez de água no solo (Tabelado);

ET_{adj} evapotranspiração ajustada (mm dia^{-1});

ET_c evapotranspiração cultural para condições padrão (mm dia^{-1});

Y_a produção atual da cultura

Y_m produção máxima esperada.

14

- No FAO N ° 33 “Yield response to water”, os valores de K_y são específicos da cultura e podem variar durante o ciclo cultural.
 - Em geral, a diminuição do rendimento devido ao deficit hídrico durante o período vegetativo e maturação é relativamente pequena, durante os períodos de floração e de formação de produção é grande.

Os valores de K_y são específicos da cultura e variam ao longo do seu ciclo, de acordo com as fases de crescimento.

- $K_y > 1$: cultura muito sensível ao deficit, com reduções mais do que proporcionais da produção;
- $K_y < 1$: cultura tolerante ao deficit hídrico, recuperando parcialmente e exibindo reduções menos que proporcionais na produção.
- $K_y = 1$: a redução da produção é diretamente proporcional ao deficit.

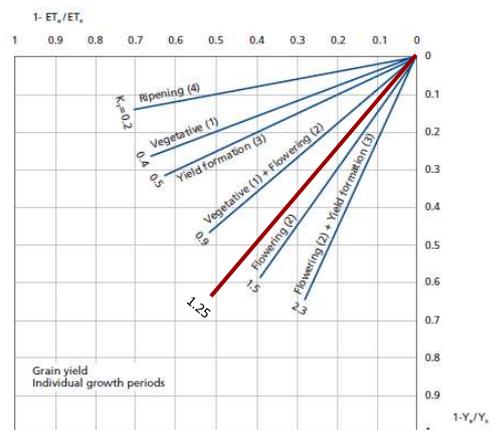
A mesma cultura apresenta coeficientes redução da produção diferentes ao longo do seu ciclo

Exemplo: Milho

Quanto > o declive > o K_y , > a redução da produção para uma dada redução na ET_c

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c}\right)$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \frac{\sum_i K_{yi} (ET_{ci} - ET_{ai})}{ET_c}$$



Valores do coeficiente de stress hídrico, K_y
(Tabela 24 FAO 56)

Crop	K_y	Crop	K_y
Alfalfa	1.1	Safflower	0.8
Banana	1.2-1.35	Sorghum	0.9
Beans	1.15	Soybean	0.85
Cabbage	0.95	Spring wheat	1.15
Cotton	0.85	Sugarbeet	1.0
Groundnuts	0.70	Sugarcane	1.2
Maize	1.25	Sunflower	0.95
Onion	1.1	Tomato	1.05
Peas	1.15	Watermelon	1.1
Pepper	1.1	Winter wheat	1.05
Potato	1.1		

Nota: o FAO 33 apresenta uma tabela com valores de K_y por fase do ciclo

17

Resumo do procedimento de cálculo para a estimativa da quebra da produção devida ao stress hídrico:

- Estimativa da produção máxima (Y_m) da cultura supondo que não há limitação de factores agrónómicos (por exemplo, água, fertilizantes, pragas e doenças);
- Calculo da evapotranspiração máxima (ET_c) para condições padrão;
- Calculo da evapotranspiração real das culturas (ET_{adj}) sob a situação específica;
- Calculo da produção real ou actual (Y_a), através da seleção adequada do fator de resposta (K_y) para o ciclo ou para as diferentes fases de crescimento.

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c}\right)$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \frac{\sum_i K_{yi} (ET_{ci} - ET_{ai})}{ET_c}$$

18

Exercício 7

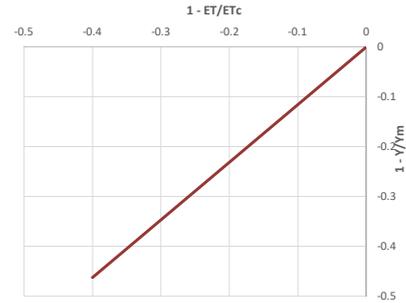
Considere que uma cultura do feijão em solo franco. O K_y para esta cultura é 1.15 (FAO Irrigation and Drainage Paper No 33, Tabela 24).

- a) Compare o efeito de diferentes níveis de redução da evapotranspiração sobre a produção;
 b) Se a produção máxima for de 9 000 kg, determine a produção a esperar quando o défice de ET médio ao longo do ciclo é de 20%.

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c}\right)$$

Soluções:

ET_{adj}/ET_c	$1-ET_{adj}/ET_c$	$1-Y_a/Y_{max}$	Y_a/Y_{max} (%)
1	0.0	0.00	100.0
0.9	0.1	0.12	88.5
0.8	0.2	0.23	77.0
0.7	0.3	0.35	65.5
0.6	0.4	0.46	54.0



- b) $Y_a = 0.77 \times 9000 = 6930$ kg

19

Exercício 8

Considere a cultura do milho.

- a) Considerando que houve restrições no uso da água de rega no final do ciclo, levando a uma redução da ET , determine o impacto que teve sobre a produção.
 b) Qual a redução que ocorreria caso o stress tivesse ocorrido durante a fase intermédia?

	ET_c	ET_{adj}	K_y
Fase de desenvolvimento vegetativo	50	50	0.4
Fase intermédia	250	250	2.3
Fase final	100	70	0.2

$$ET_c \text{ total} = 50 + 250 + 100 = 400 \text{ mm}$$

$$Y_a/Y_{max} = 1 - [0.4 \times (50-50) + 2.3 \times (250-250) + 0.2 \times (100-70)]/400$$

$$Y_a/Y_m = 98.5\% \rightarrow \text{redução} = 1.5\%$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \frac{\sum_i K_{yi} (ET_{ci} - ET_{ai})}{ET_c}$$

$$Y_a/Y_{max} = 1 - [0.4 \times (50-50) + 2.3 \times (250-220) + 0.2 \times (100-100)]/400$$

$$Y_a/Y_m = 82.75\% \rightarrow \text{redução} = 17.25\%$$

20

O modelo de Stewart pode ser invertida de modo obter uma estimativa grosseira da ET_{adj} **para todo o ciclo**:

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c}\right)$$

$$\frac{ET_{adj}}{ET_c} = K_s = 1 - \frac{1}{K_y} \left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right)$$

- Estudos de balanço hídrico regional
- Estudos de exaurimento ou recarga de aquíferos
- Estimativa de consumos de água no passado

não deve ser usada para
valores diários ou
semanais

21/48

Exercício 9

A produção de feijão numa determinada zona é de 1100 kg ha^{-1} . A produção potencial na zona para a variedade utilizada na região, na ausência de stress hídrico e com boas práticas agrónomicas, é de 1800 kg ha^{-1} .

Sendo o K_y do feijão de 1.15 e a ET_c total de 350 mm, faça uma estimativa de ET_{adj} da cultura nesta região.

$$\frac{ET_{adj}}{ET_c} = 1 - \frac{1}{K_y} \left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right)$$

$$\frac{ET_{adj}}{ET_c} = 1 - \frac{1}{1.15} \left(1 - \frac{1100}{1800}\right) = 0.66$$

$$ET_{adj} = 0.66 \times 350 = 230 \text{ mm}$$

22/48