



INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

Departamento de Ciências e
Engenharia de Biosistemas

UC Necessidades hídricas e sistemas de rega

Aula 4 (TP)

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, k_s

2.5.2 Relação stress hídrico – produção

Aplicações práticas

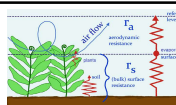
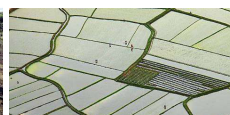
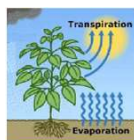
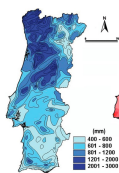
3. Necessidades de rega das culturas

3.1 Dotação útil de rega, eficiência de rega e dotação total de rega;

3.2 Balanço hídrico para a condução da rega;

3.2.1 Conceitos

3.2.2 BH em situação de conforto hídrico



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:

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

$$p = 0.25$$

Batata doce:

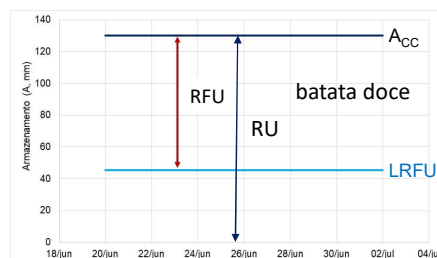
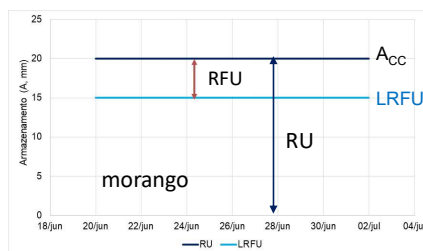
$$Z_r = 1.3 \text{ m}$$

$$p = 0.65$$

Solo:

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

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



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 $ET_o = 6 \text{ mm d}^{-1}$. (7.2 e 3.75 mm)

Dados

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

Exercício 6

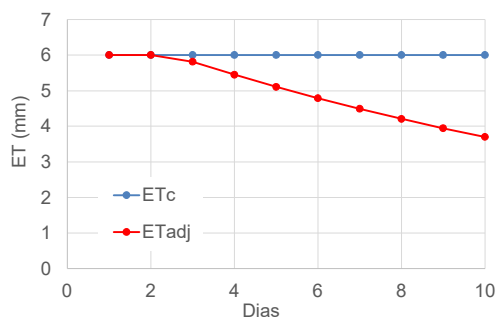
Estime o efeito do stress hídrico sobre a evapotranspiração de uma cultura de tomate plenamente desenvolvida ($Z_r = 0.8 \text{ m}$, $p = 0.40$ e $K_c = 1.2$) cultivada num solo limoso ($\theta_{CC} = 0.32$ e $\theta_{CE} = 0.12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) durante os próximos 10 dias, sendo D_p inicial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

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

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



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 agrónomicos (por exemplo, água, fertilizantes, pragas e doenças);
- Cálculo da evapotranspiração máxima (ET_c) para condições padrão;
- Cálculo da evapotranspiração real das culturas (ET_{adj}) sob a situação específica;
- Cálculo 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.

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

K_y médio para todo o ciclo

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

K_y específico para cada fase do ciclo

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).

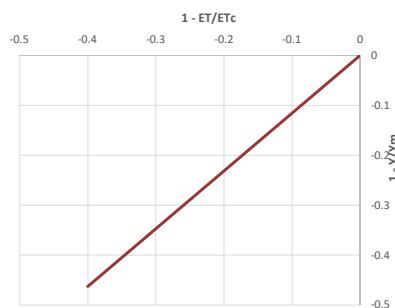
- Compare o efeito de diferentes níveis de redução da evapotranspiração sobre a produção;
- Se a produção máxima for de 9 000 kg, determine a produção a esperar quando o défice de ET médio ao longo do ciclo é de 20%.

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

Soluções:

→

ET_{adj}/ET_c	$1-ET_{adj}/ET_c$	$1-Y_a/Y_m$	Y_a/Y_m (%)
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



- $Y_a = 0.77 \times 9000 = 6930 \text{ kg}$

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

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

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

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

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

$$Y_a/Y_m = 1 - [0.4 \times (50-50) + 2.3 \times (250-175) + 0.2 \times (100-100)]/400$$

$$Y_a/Y_m = 43.1\% \rightarrow \text{redução} = 56.8\%$$

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 agronómicas, 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.

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

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

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

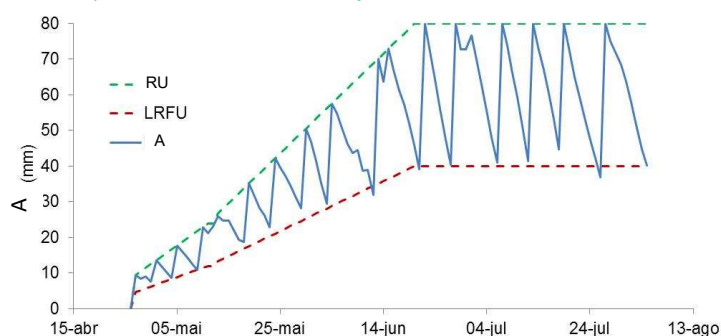
3.2.2 BALANÇO HÍDRICO PARA A CONDUÇÃO DA REGA EM CONFORTO HÍDRICO

Condução da rega:

- pretende responder às perguntas quando regar e quanto regar
- resulta da combinação ótima entre as necessidades hídricas das culturas, as características do solo, e o método/sistema de rega a utilizar.

O conhecimento do balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é fundamental para a boa condução da água em regadio.

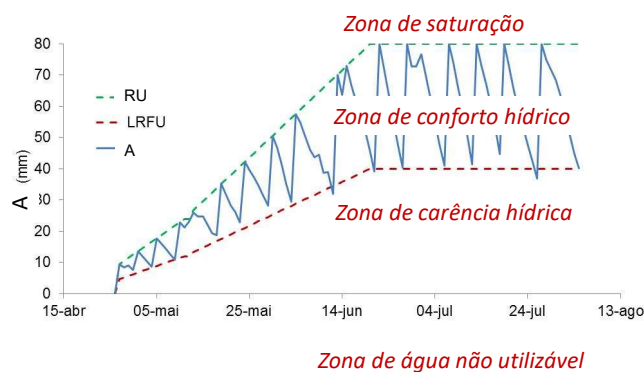
Exemplo: resultado de um balanço hídrico



Data	Dotação (mm)
1-mai	7.7
5-mai	10.8
10-mai	13.7
19-mai	19.4
24-mai	23.0
30-mai	25.9
4-jun	32.8
13-jun	45.0
22-jun	47.9
28-jun	47.3
7-jul	46.0
13-jul	46.3
19-jul	42.4
27-jul	48.6
	456.8

Delimitam-se no gráfico:

- uma **zona de saturação**, em que a água não é imediatamente utilizável, acima da capacidade de campo,
- uma **zona de conforto hídrico** entre a capacidade de campo e o LRFU, onde a cultura se desenvolve em condições ótimas,
- uma **zona de carência hídrica** entre este limite e o coeficiente de emurchecimento, em que se reduz a evapotranspiração cultural de acordo com a diminuição do teor de água no solo, e uma **zona de água não utilizável** abaixo deste valor.



Exercício 13

Um solo apresenta teores volumétricos de água à capacidade de campo de 16%, e no coeficiente de emurchecimento, de 8 %. A cultura nele instalada apresenta, para as diferentes fases do ciclo, as profundidades radiculares do Quadro seguinte. A fração da reserva facilmente utilizável é 0.4.

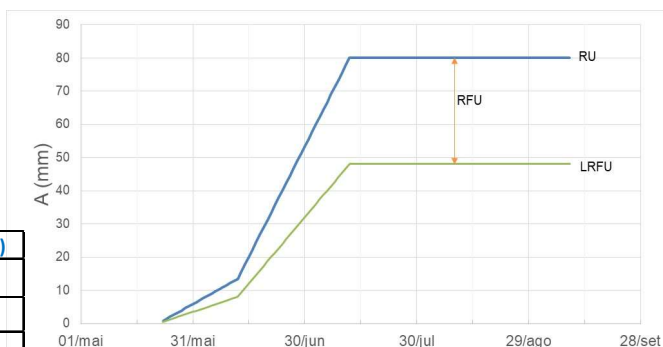
- a) Calcule RU, RFU e LRFU;
 b) Apresente graficamente a sua evolução ao longo do ciclo

Dados relativos à cultura

Fases do ciclo	Início	Zr (m)
Estabelecimento	23/05/2025	0.01
Desenvolvimento rápido	12/06/2025	0.17
Reprodução/maturação	12/07/2025	1.0
Senescência	21/08/2025	1.0

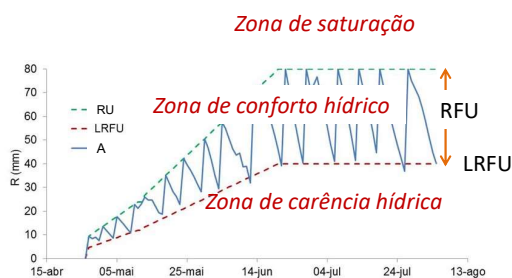
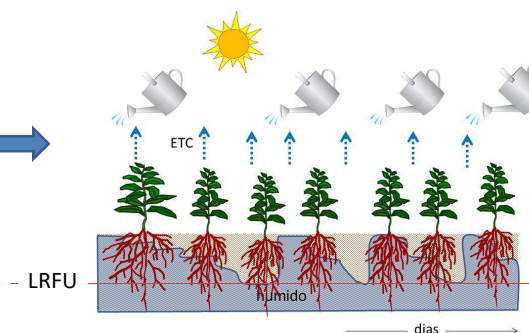
Soluções

Fases do ciclo	RU (mm)	RFU (mm)	LRFU (mm)
Estabelecimento	0.8	0.3	0.5
Desenvolvimento rápido	13.6	5.4	8.2
Reprodução/maturação	80.0	32.0	48.0
Senescência	80.0	32.0	48.0



conforto hídrico

Para a maior parte das culturas, a rega deve ser conduzida de modo a que a água no solo se mantenha sempre na zona de conforto hídrico.

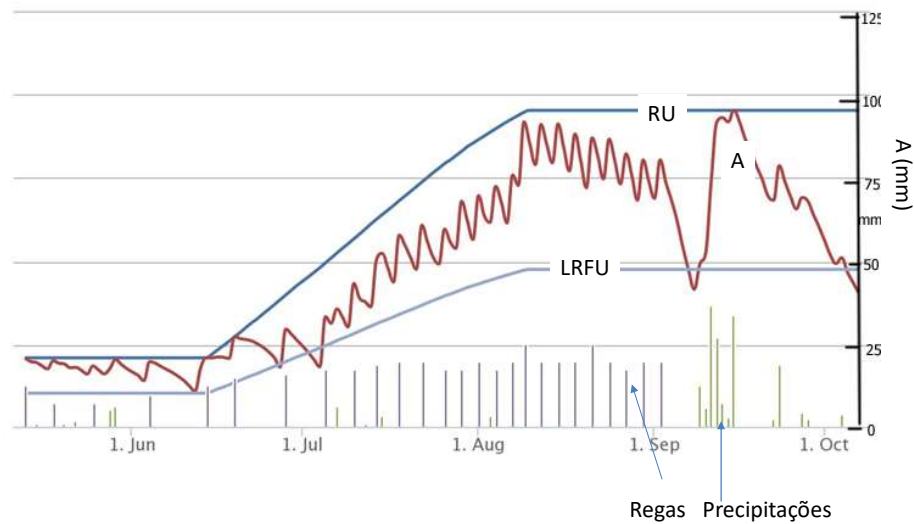


Exemplo: rega com sistema fixo de rega por aspersão

Utiliza-se toda a RFU do solo entre regas



Exemplo de condução da rega com rampa pivotante na cultura da beterraba
sacarina, mantendo-se a reserva do solo **sempre na zona de conforto hídrico**



13

Na zona de conforto hídrico – simplificações da equação do balanço hídrico

- $DR = 0$, porque $\theta < \theta_{cc}$ e $A < A_{cc}$;
- ET é igual ao seu valor máximo, ET_c
- $Ac = 0$, porque não há gradiente de humidade entre a zona das raízes e a zona freática

$$\Delta A = (P_e - ET_c + Du) \quad P_e \text{ e } ET_c \text{ em mm dia}^{-1}$$

14

Exercício 14 Muito IMP!

Considere uma cultura de milho para forragem semeado no dia 23 de Maio num solo franco arenoso com $\theta_{cc} = 0.16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $\theta_{ce} = 0.1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. O sistema de rega é a aspersão fixa com cobertura total (pretende aproveitar-se a RFU do solo). O p da cultura é 0.4.

- Calcule RU, RFU e LRFU;
- Apresente graficamente a sua evolução ao longo do ciclo
- Determine os dias de rega e as dotações considerando que se pretende:
 - manter a cultura sempre na zona de conforto hídrico;
 - aproveitar a RFU do solo e em cada rega encher completamente o reservatório
 - regar no início do dia
 - Acabar as regas no dia 1 de setembro

Recorra aos dados do Quadro 2

Considere que no início do primeiro dia $A = 85\%$ de RU

- Represente graficamente a evolução do armazenamento, com rega, ao longo do período de desenvolvimento intermédio

- Apresente um quadro com os dias e as dotações de rega

Quadro 2. Dados relativos à cultura

Fases	Início	Zr (m)
Est	23/05/2025	0.01
DR	12/06/2025	0.17
Rep	12/07/2025	0.7
Sen	21/08/2025	0.7

Na aula, resolver o problema apenas para o período de desenvolvimento intermédio (12 jul a 21 agosto)

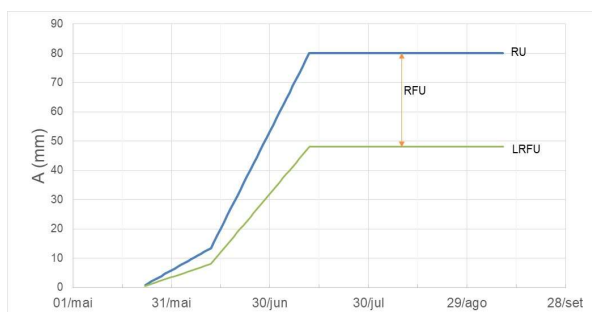
Fora da aula, resolver o problema para todo o ciclo de cultura

15

- Determinar RU, RFU e LRFU;

	Início	Zr	RU	RFU	LRFU
Fases do ciclo	dia	m		mm	
Estabelecimento	23/mai	0,01	0,8	0,3	0,5
Rápido desenvolvimento	12/jun	0,17	13,6	5,4	8,2
Reprodução/maturação	12/jul	1,00	80,0	32,0	48,0
Senescência	21/ago	1,00	80,0	32,0	48,0

- Representar graficamente a zona de conforto hídrico



16

c) Aplicar a equação do BH e calcular as datas e dotações uteis de rega no período intermédio de desenvolvimento da cultura

				(mm)
Zr (mm)	0.7		RU	42.00
p	0.4		RFU	16.80
CCvol	0.16		LRFU	25.20
CEVol	0.1			

Datas	ETo (mm)	P (mm)	Kc	ETc (mm)	A (mm)		Dp (mm)	Du (mm)
12/07/2024		0.0		8.83	35.70	0.0	6.30	0.00
13/07/2024		0.0		8.03	26.87	42.0	0.00	15.13
14/07/2024		0.0		6.84	33.97	0.0	8.03	0.00
15/07/2024		0.0		6.62	27.13	42.0	0.00	14.87
16/07/2024		0.0		6.73	35.38	0.0	6.62	0.00
17/07/2024		0.0		7.49	28.65	42.0	0.00	13.35
18/07/2024		0.0		8.71	34.51	0.0	7.49	0.00
19/07/2024		20.0		7.42	25.80	0.0	16.20	0.00
20/07/2024		0.0		8.12	38.38	0.0	3.62	0.0
21/07/2024		0.0		7.48	30.26	42.0	0.00	11.7
22/07/2024		0.0		5.97	34.52	0.0	7.48	0.0

Conforto hídrico $\Rightarrow A_c = 0$; $DR = 0$

$$A_i = A_{i-1} + P_{i-1} - ET_{c_{i-1}}$$

$$Du = RU - A$$

Regámos no dia 13, pois sem rega, ao fim do dia A seria < 25.2 mm ou Dp seria > 16.8. Com a rega, o A foi reposto até à RU (42 mm)

Uma vez que não queremos stress hídrico, regamos para evitar que

$$\square A < LRFU$$

e/ou

$$\square Dp > RFU$$