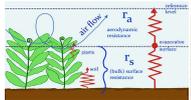


UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica / M.ª Rosário Carneira / Instituto Superior de Agronomia



INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas






UC Necessidades hídricas e sistemas de rega

Aula 4 (TP)

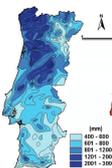
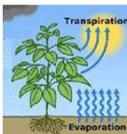
2. Necessidades hídricas das culturas

- 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, ks
 - 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





UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica / M.ª Rosário Carneira / Instituto Superior de Agronomia

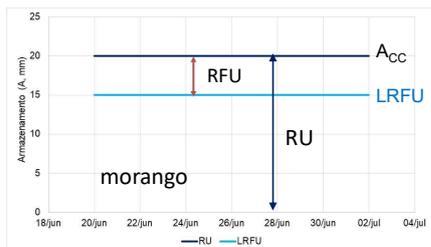
Exercício 4

a) Determine a RU e a RFU das culturas do morango e da batata doce para solo franco arenoso;

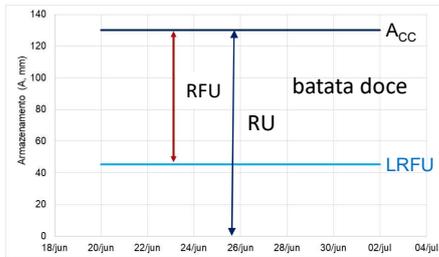
b) Represente graficamente RU, RFU e LRFU

Dados

<p>Morango:</p> <p>$Z_r = 0.20$ m</p> <p>$p = 0.25$</p> <p>Solo:</p> <p>$\theta_{CC} = 0.2 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$</p> <p>$\theta_{CE} = 0.1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$</p>	<p>Batata doce:</p> <p>$Z_r = 1.3$ m</p> <p>$p = 0.65$</p>
--	---



morango



batata doce

2

Exercício 5

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

- a) RU, RFU e LRFU; (160 mm; 64 mm; 96 mm)
- b) 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)
- c) Em algum desses dias há stress hídrico? Justifique (no 2º dia)
- d) De acordo com a alínea anterior determine o coeficiente de stress hídrico; (1; 0.52)
- e) 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	

3

Exercício 6

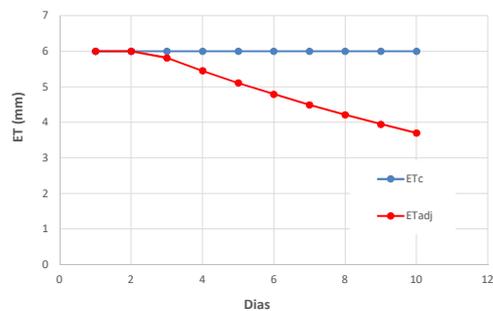
Estime o efeito do stress hídrico sobre a evapotranspiração de uma cultura de tomate plenamente desenvolvida ($Z_r = 0.8 \text{ m}$, $p = 0.40$ e $K_c = 1.2$) cultivada num solo limoso ($\theta_{CC} = 0.32$ e $\theta_{CE} = 0.12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) durante os próximos 10 dias, sendo D_p inicial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

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 RFU=64 mm LRFU = 96 mm



4

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.

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

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

5

Exercício 7

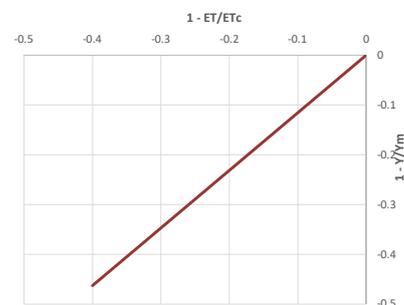
Considere que uma cultura do feijão em solo franco. O K_y para esta cultura é 1.15 (FAO Irrigation and Drainage Paper No 33, Tabela 24).

- 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:

a)	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



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

6

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

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

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

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

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

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

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

7

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.

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

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

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

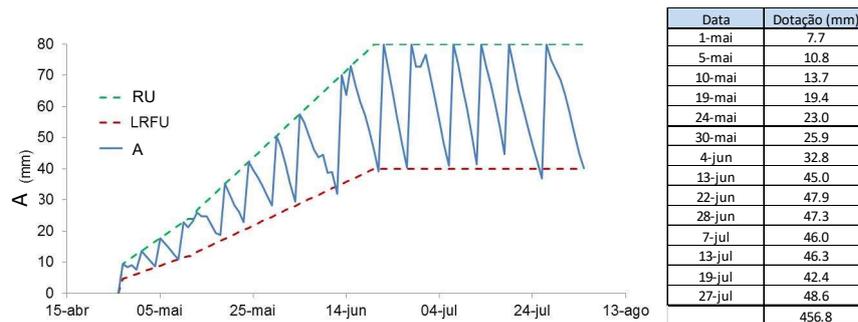
8/48

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.

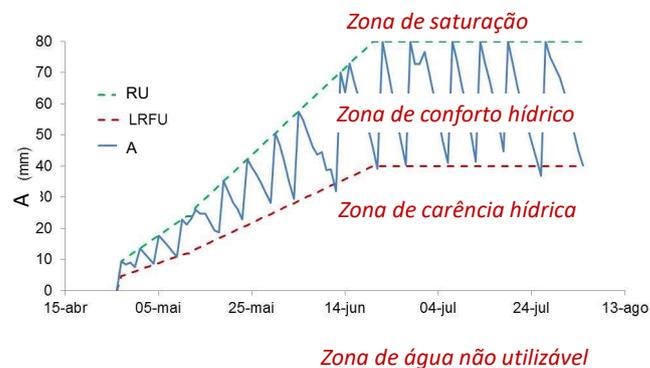
O conhecimento do balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é fundamental para a boa condução da água em regadio.



9/48

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.



10

Exercício 12

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.

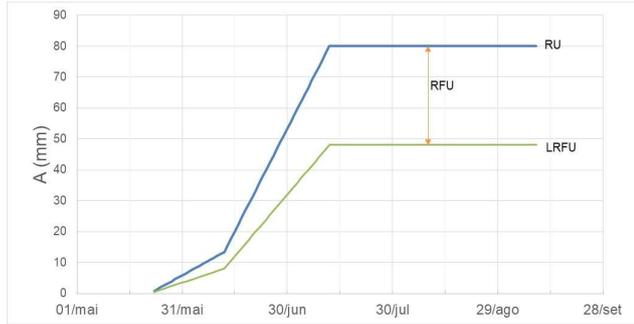
- a) Calcule RU, RFU e LRFU;
- b) Apresente graficamente a sua evolução ao longo do ciclo

Dados relativos à cultura

Fases do ciclo	Início dia	Zr m
Estabelecimento	23/mai	0,01
Rápido desenvolvimento	12/jun	0,17
Reprodução/maturação	12/jul	1,00
Senescência	21/ago	1,00

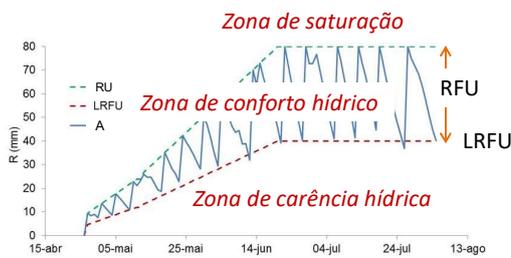
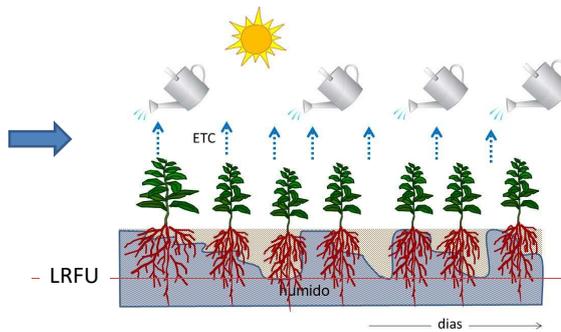
Soluções

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

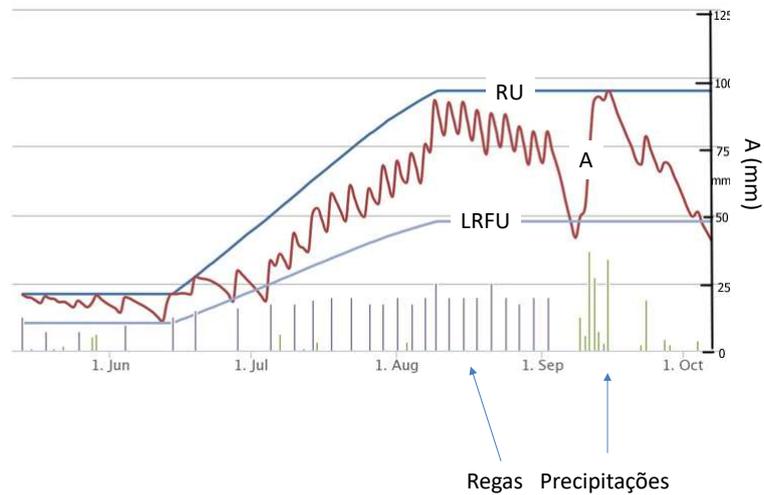


Exemplo: rega com sistema fixo de rega por aspersão

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

$$\Delta A = (P_e - ET_c + Du)$$

P_e e ET_c em mm dia⁻¹

14

Exercício 13 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 $\theta_{ce} = 0.08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. 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; (feito no exercício 12)
- Apresente graficamente a sua evolução ao longo do ciclo (feito no exercício 12)
- 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
 - 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 1 Dados relativos à cultura

	Início	Zr
Fases do ciclo	dia	m
Estabelecimento	23/mai	0,01
Rápido desenvolvimento	12/jun	0,17
Reprodução/maturação	12/jul	1,00
Senescência	21/ago	1,00

Na aula, resolver o problema apenas para o período de desenvolvimento intermédio,

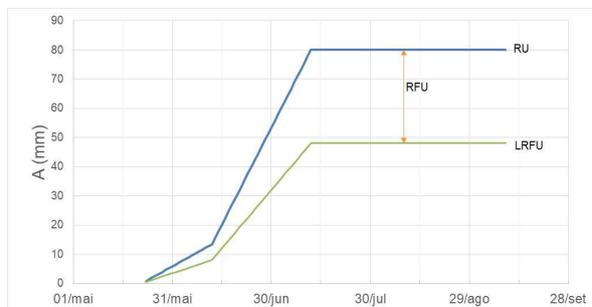
Fora da aula, resolver o problema para todo o ciclo cultural.

15

- Determinar RU, RFU e LRFU;

	Início	Zr	RU	RFU	LRFU
Fases do ciclo	dia	m	mm	mm	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

UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica
M.ª Rosário Cameira / Instituto Superior de Agronomia

Quadro 2

Dia	Pinf (mm)	Etc (mm)	A (mm)		Depleção (mm)	Du (mm)
			com rega	sem rega		
12/jul	0	8.83	68.1	11.9		
13/jul	0	8.03	59.3	20.7		
14/jul	0	6.84	51.2	80.0	0.0	28.8
15/jul	0	6.62	73.2	6.8		
16/jul	0	6.73	66.5	13.5		
17/jul	0	7.49	59.8	20.2		
18/jul	13	8.71	52.3	27.7		
19/jul	0	7.42	56.6	23.4		
20/jul	0	8.12	49.2	80.0	0.0	30.8
21/jul	0	7.48	71.9	8.1		
22/jul	0	5.97	64.4	15.6		
23/jul	0	5.92	58.4	21.6		
24/jul	0	6.08	52.5	80.0	0.0	27.5
25/jul	0	6.22	73.9	6.1		
26/jul	0	5.86	67.7	12.3		
27/jul	0	5.91	61.8	18.2		
28/jul	0	5.40	55.9	24.1		
29/jul	0	4.07	50.5	80.0	0.0	29.5
30/jul	0	3.53	75.9	4.1		
31/jul	0	5.37	72.4	7.6		
01/ago	0	6.60	67.0	13.0		
02/ago	0	7.36	60.4	19.6		
03/ago	0	7.91	53.1	80.0	0.0	26.9
04/ago	0	5.47	72.1	7.9		
05/ago	5	7.94	66.6	13.4		
06/ago	0	7.23	63.7	16.3		
07/ago	5	6.15	56.5	23.5		
08/ago	0	5.96	55.3	24.7		
09/ago	0	6.06	49.3	80.0	0.0	30.7

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

Conforto hídrico => $A_c = 0$; $DR = 0$

$$A_i = A_{i-1} + P_{i-1} - ETC_{i-1}$$

$$Du = RU - A$$

0.85 x RU

68.1 + 0 - 8.83

Regámos pois sem rega, ao fim do dia A seria < 48 mm ou Dp seria > RFU. Com a rega, o A foi repostado até à RU (80 mm)

= 52.3 - 8.71 + 13

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

- $A < LRFU$
- e/ou
- $Dp > RFU$

17

UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica
M.ª Rosário Cameira / Instituto Superior de Agronomia

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

Dia	Du (mm)
30/05/2018	1
04/06/2018	6
08/06/2018	5
12/06/2018	6
15/06/2018	11
18/06/2018	12
21/06/2018	12
24/06/2018	16
27/06/2018	20
02/07/2018	22
05/07/2018	23
14/07/2018	29
20/07/2018	31
24/07/2018	28
29/07/2018	29
03/08/2018	27
09/08/2018	31
15/08/2018	27
23/08/2018	30
29/08/2018	27
Total	393

Figura - Balanço hídrico para o período intermédio de desenvolvimento da cultura de milho forragem regado por aspersão em solo arenoso franco

18