



INSTITUTO  
SUPERIOR DE  
AGRONOMIA  
*Universidade de Lisboa*

Departamento de Ciências e  
Engenharia de Biosistemas

# REGA E DRENAGEM

## 2. 1 NECESSIDADES DE ÁGUA PARA REGA

### 2.1.3. DOTAÇÃO TOTAL DE REGA

---

- Balanço hídrico com e sem stress (dotação útil)
- Eficiência de rega
- Fracção de lavagem (ou lixiviação)

### 2.1.4. CAUDAL DE PROJECTO

---

- Dados climáticos: séries históricas
- Necessidades de ponta

A eficiência do sistema pode ser considerada a diferentes níveis:

**Ao nível da Parcela** - a eficiência considerada é a **eficiência de aplicação** do sistema de rega

NR = quantidade de água de rega necessária ao sistema de rega

**Ao nível da exploração agrícola** – a eficiência inclui a **eficiência de aplicação** e a **eficiência no transporte e distribuição** dentro da exploração

NR = quantidade de água de rega de que a exploração necessita

**Ao nível do perímetro de rega** – a eficiência tem em consideração todas as perdas desde a captação até ao solo

NR na captação = quantidade de água de rega que é necessário retirar à captação

$$E_{f \text{ global}} = E_{f \text{ sistema}} \times E_{f \text{ distribuição}} \times E_{f \text{ transporte}}$$

## Ao nível da parcela

**Dotação útil de rega** – valor determinado a partir do balanço hídrico  
Na ausência de outras fontes ou sumidouros de água,

$$D_u = ET_{diária} \times \Delta t$$

$$( NRL = ET - (Pe - RO - DP) - AC - \Delta A )$$

$\Delta t$  – intervalo entre regas

**Dotação bruta de rega** – valor afectado pela eficiência do sistema

$$D = \frac{D_u}{Ef}$$

**D** dotação de rega (mm),

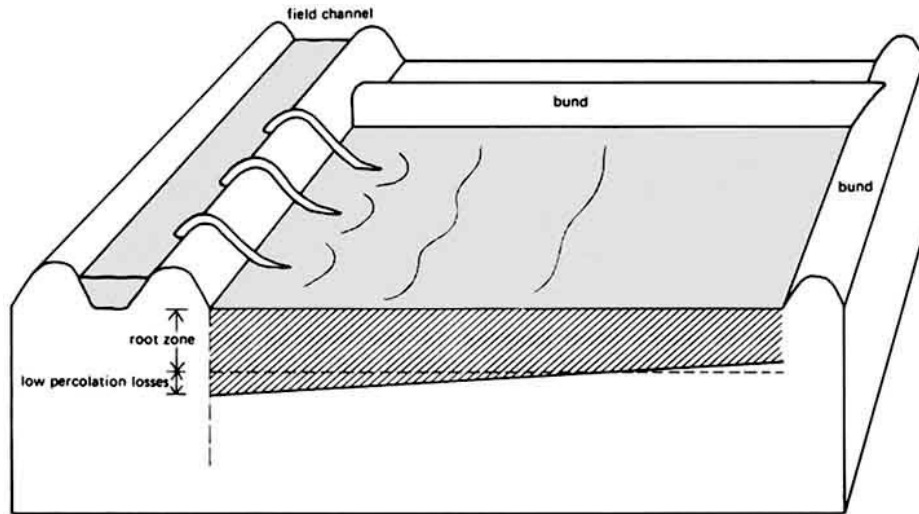
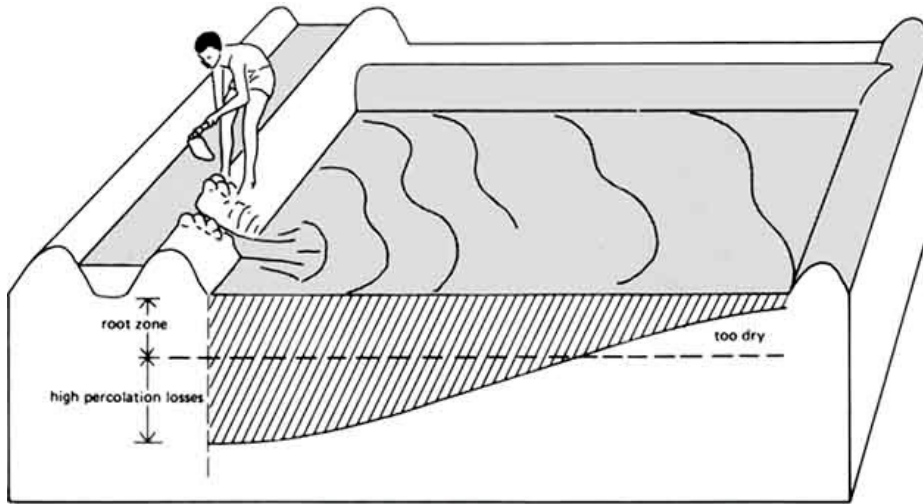
**Ef** eficiência de aplicação do sistema de rega

**D<sub>u</sub>** dotação útil de rega calculada pelo BH (mm)

## Eficiência de aplicação

$$Ef = \frac{\text{Água armazenada na zona radicular}}{\text{Água fornecida à parcela}}$$

Sistemas de rega	Eficiências (%)
<b>Métodos de rega</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rega de gravidade com nivelamento de precisão                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Sulcos 65 – 85</li> <li>Faixas 70 – 85</li> <li>Bacias 70 – 90</li> </ul> </li> <li>• Rega de gravidade tradicional                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Sulcos 40 – 70</li> <li>Faixas 45 – 70</li> <li>Bacias 45 – 70</li> </ul> </li> <li>• Rega de arroz, canteiros em alagamento permanente 25 – 70*</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rega por aspersão                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas estacionários de cobertura total 65 – 85</li> <li>Sistemas estacionários deslocáveis manualmente rampas com rodas 65 – 80</li> <li>Aspersores canhão com enrolador ou com cabo 55 – 70</li> <li>Rampas móveis, com pivot central 65 – 85</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microrrega (rega localizada)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Gotejadores, 3 emissores por planta (pomares) 85 – 95</li> <li>Gotejadores, &lt; 3 emissores por planta 80 – 90</li> <li>Micro-aspersores e “bubblers” (pomares) 85 – 95</li> <li>Linha contínua de emissores gota-a-gota 70 – 90</li> </ul> </li> </ul>	



## Rega de superfície

### Perdas por evaporação nos sulcos e valas de transporte

- velocidade do vento
- humidade do ar
- temperatura do ar

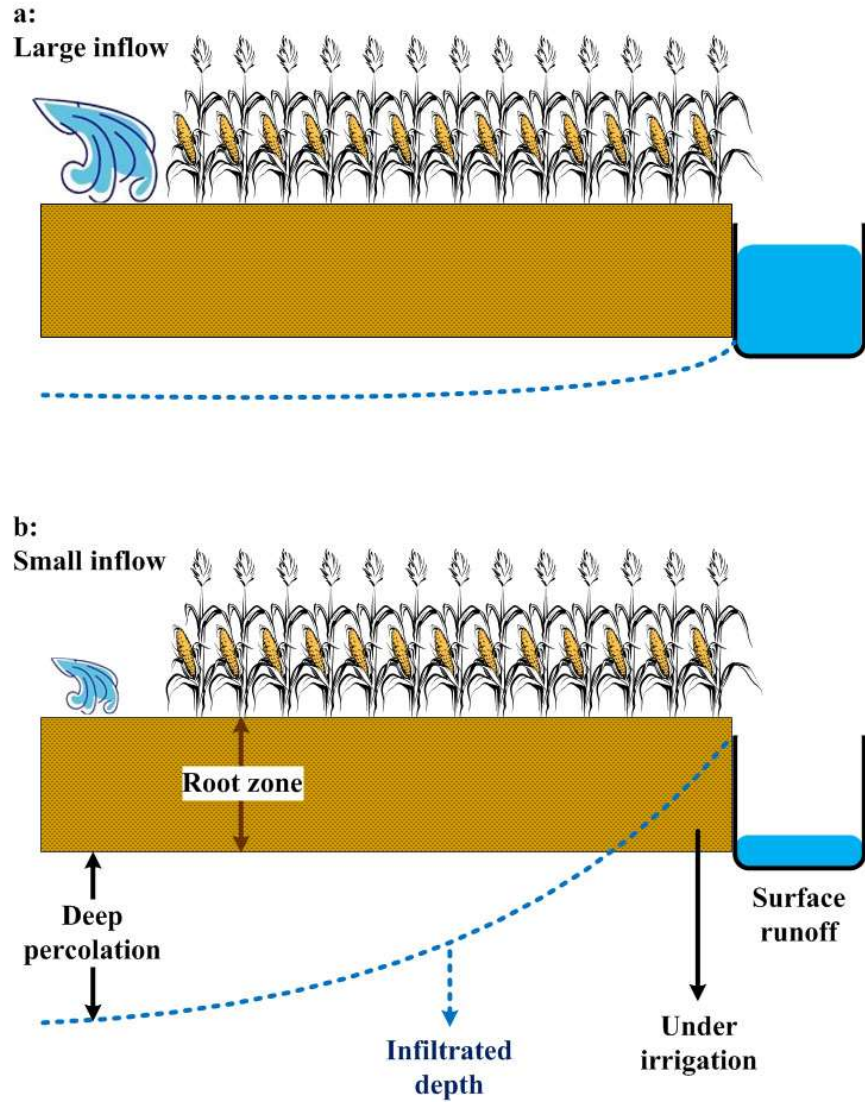
### Perdas por percolação

- caudal de alimentação
- comprimento da parcela
- textura do solo
- declive da parcela
- rugosidade
- dotação de rega

**Ef 40% – 70%**

### Perdas por escoamento superficial (sulcos abertos)

- caudal de alimentação
- declive da parcela
- textura do solo



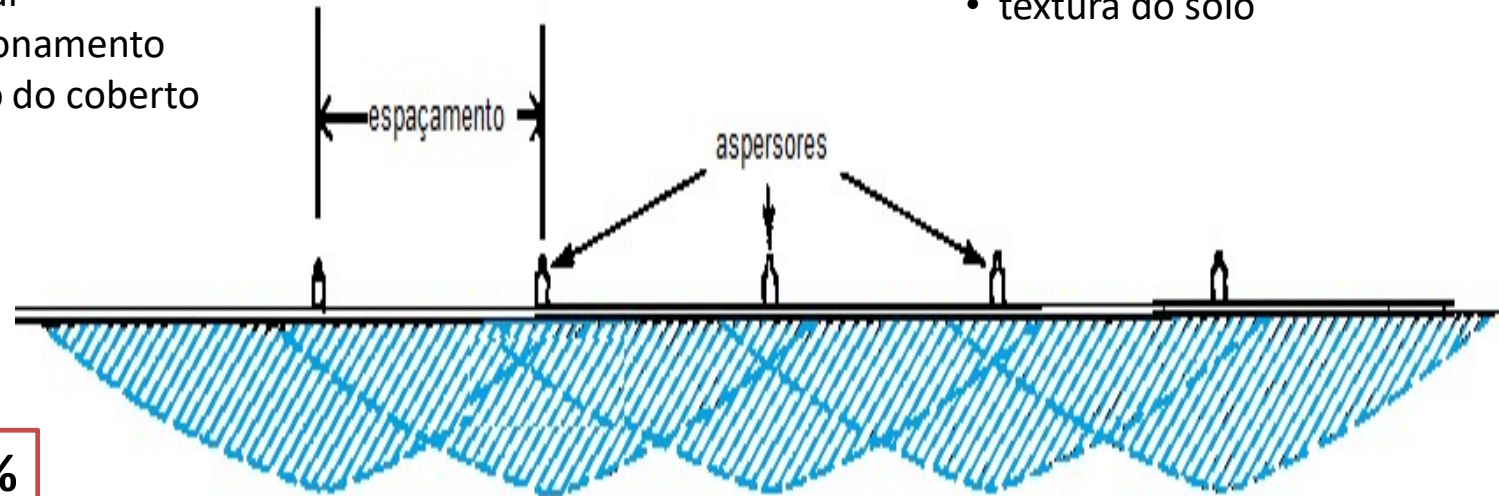
## Perdas por evaporação, arrastamento pelo vento e interceptação

- velocidade do vento
- humidade do ar
- temperatura do ar
- pressão de funcionamento
- desenvolvimento do coberto

## Rega por aspersão

### Perdas por percolação

- uniformidade do sistema
- dotação de rega
- textura do solo



**Ef 65% – 85%**

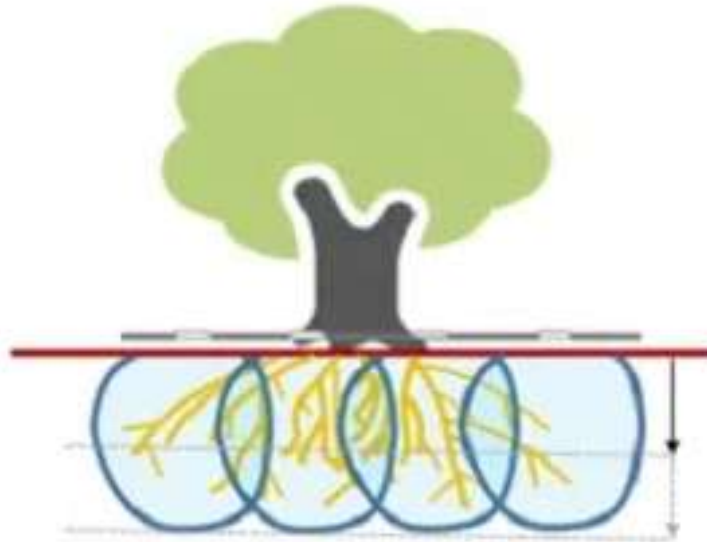
### Perdas por escoamento superficial

- taxa de aplicação vs capacidade de infiltração do solo
- declive da parcela
- densidade do coberto

### Perdas por evaporação (durante a rega)

- velocidade do vento
- humidade do ar
- temperatura do ar
- ensombramento

Ef 90% – 95%



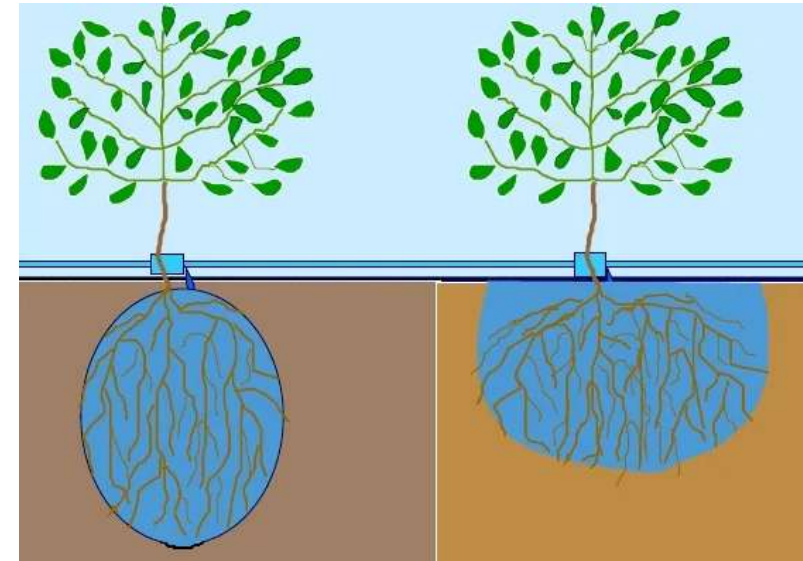
### Perdas por escoamento superficial

- taxa de aplicação vs capacidade de infiltração do solo
- declive da parcela

## Rega localizada

### Perdas por percolação

- uniformidade do sistema
- dotação de rega
- textura do solo





## Controlo da salinidade:

- Lixiviação
  - Drenagem
- 
- Rega de alta frequência
  - Culturas mais resistentes

## Controlo da salinidade através da lixiviação

= aplicação de maior dotação de rega que a necessária para cobrir as necessidades hídricas de forma a arrastar os sais para fora da zona radicular

A quantidade de água necessária para a lavagem – **fracção de lavagem- LR**, depende da tolerância da cultura à salinidade e da qualidade da água de rega.

**Fracção de lavagem- LR** : % de água de rega que deve passar pelo perfil do solo para manter a salinidade a níveis compatíveis com a tolerância das culturas e com o objectivo da obtenção de um determinado nível de produção.

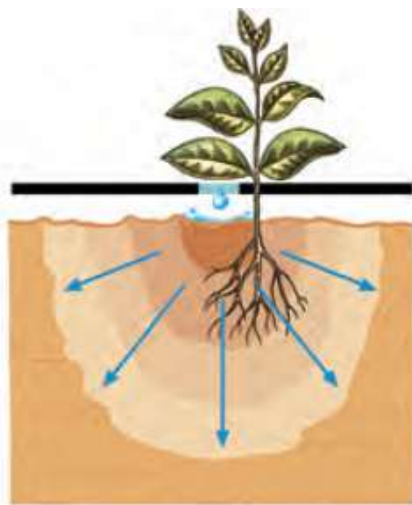
$$LR = \frac{1.5 CE_w}{5 CE_{e\ lim} - 1.5 CE_w}$$

$CE_w$  salinidade da água de rega determinada em lab (dS m<sup>-1</sup>)  
 $CE_{e\ lim}$  salinidade do solo, determinada no extracto de saturação, tolerada pela cultura para que o nível de produção atinja um determinado valor (dS m<sup>-1</sup>)  
(Quadro FAO)

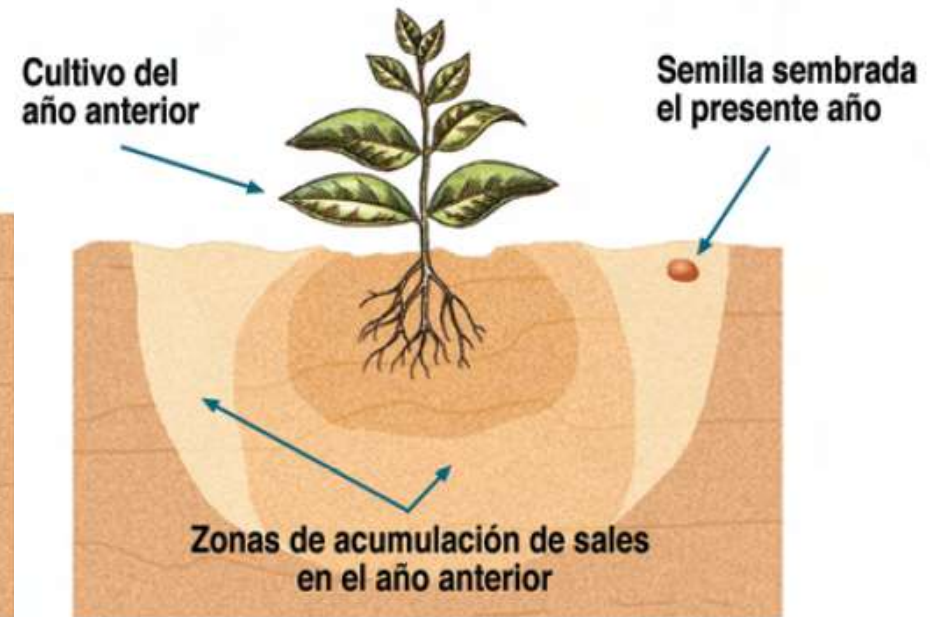
FIELD CROPS	100%		90%		75%		50%		0%	
	EC <sub>e</sub>	EC <sub>w</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>w</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>w</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>w</sub>	"maximum" <sup>3</sup>	
									EC <sub>e</sub>	EC <sub>w</sub>
<b>Barley</b> ( <i>Hordeum vulgare</i> ) <sup>4</sup>	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
<b>Cotton</b> ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
<b>Sugarbeet</b> ( <i>Beta vulgaris</i> ) <sup>5</sup>	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
<b>Sorghum</b> ( <i>Sorghum bicolor</i> )	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
<b>Wheat</b> ( <i>Triticum aestivum</i> ) <sup>4,6</sup>	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
<b>Wheat, durum</b> ( <i>Triticum turgidum</i> )	5.7	3.8	7.6	5.0	10	6.9	15	10	24	16
<b>Soybean</b> ( <i>Glycine max</i> )	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
<b>Cowpea</b> ( <i>Vigna unguiculata</i> )	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13	8.8
<b>Groundnut (Peanut)</b> ( <i>Arachis hypogaea</i> )	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
<b>Rice (paddy)</b> ( <i>Oriza sativa</i> )	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
<b>Sugarcane</b> ( <i>Saccharum officinarum</i> )	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12
<b>Corn (maize)</b> ( <i>Zea mays</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
<b>Flax</b> ( <i>Linum usitatissimum</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
<b>Broadbean</b> ( <i>Vicia faba</i> )	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12	8.0
<b>Bean</b> ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
<b>VEGETABLE CROPS</b>										
<b>Squash, zucchini (courgette)</b> ( <i>Cucurbita pepo melopepo</i> )	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
<b>Beet, red</b> ( <i>Beta vulgaris</i> ) <sup>5</sup>	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
<b>Squash, scallop</b> ( <i>Cucurbita pepo melopepo</i> )	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.2	6.3	4.2	9.4	6.3
<b>Broccoli</b> ( <i>Brassica oleracea botrytis</i> )	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
<b>Tomato</b> ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13	8.4
<b>Cucumber</b> ( <i>Cucumis sativus</i> )	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
<b>Spinach</b> ( <i>Spinacia oleracea</i> )	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15	10
<b>Celery</b> ( <i>Apium graveolens</i> )	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
<b>Cabbage</b> ( <i>Brassica oleracea capitata</i> )	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12	8.1
<b>Potato</b> ( <i>Solanum tuberosum</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
<b>Corn, sweet (maize)</b> ( <i>Zea mays</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
<b>Sweet potato</b> ( <i>Ipomoea batatas</i> )	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.1
<b>Pepper</b> ( <i>Capsicum annum</i> )	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
<b>Lettuce</b> ( <i>Lactuca sativa</i> )	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
<b>Radish</b> ( <i>Raphanus sativus</i> )	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
<b>Onion</b> ( <i>Allium cepa</i> )	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
<b>Carrot</b> ( <i>Daucus carota</i> )	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
<b>Bean</b> ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
<b>Turnip</b> ( <i>Brassica rapa</i> )	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8.0

**Notas:**

- A eficiência de rega pode substituir a necessidade de lavagem, se a eficiência de rega for devido a perdas por drenagem (rega de superfície)
- Enquanto que na rega de superfície e por aspersão os sais são arrastados para fora da zona radicular por drenagem profunda, na rega localizada os sais acumulam-se na periferia do bolbo molhado – no caso de culturas anuais, assegurar a lavagem dos sais (precipitação, rega por aspersão) antes da sementeira da cultura seguinte



Distribución de sales



## DOTAÇÃO TOTAL DE REGA

$$D_T = \frac{D}{1 - LR}$$

$$D_T = \frac{D_u}{Ef(1 - LR)}$$

- $D_T$  dotação total de rega (mm)
- $D$  dotação bruta de rega (mm)
- $LR$  fracção de lavagem
- $Ef$  eficiência de aplicação do sistema de rega
- $D_u$  dotação útil de rega calculada pelo BH (mm)

## DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE REGA

---

- O dimensionamento é feito com base no **maior volume** a fornecer durante a campanha de rega
- Este volume **varia de ano para ano** em função das condições climáticas
- As **necessidades hídricas** e, conseqüentemente, as **dotações de rega** devem ser calculadas com base em dados meteorológicos históricos, recorrendo a um período de dados de **pelo menos 30 anos**
- É necessário fazer o **estudo das frequências de distribuição** dos valores das dotações de rega e conhecer os seus valores para diferentes **níveis de probabilidade** de ocorrência
- Ao valor de dotação do mês de maior consumo e apresenta a probabilidade de não excedência escolhida, chama-se **valor de ponta, de projeto ou de dimensionamento**.

## SÉRIES METEOROLÓGICAS

### 1. Devem ser suficientemente extensas

→ recomenda-se usar séries de pelo menos 30 anos

### 2. Devem ser homogéneas

A homogeneidade pode ser afectada por:

- Mudança do método de medição
- Mudança do aparelho de medição, alteração da sua calibração ou da sua localização
- Alteração da localização da estação
- Alteração do ambiente envolvente da estação (desflorestação, urbanismo, albufeiras)

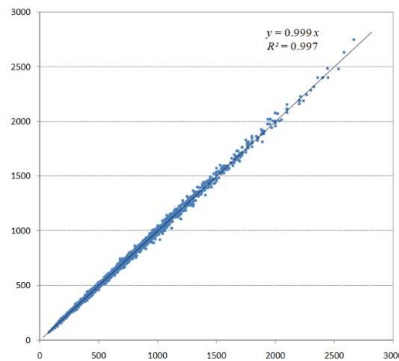
### 3. Devem ser completas

→ Preenchimento de falhas

## Preenchimento de falhas das séries temporais

- **falha pontual** – utilizar o valor médio da variável em questão
- **várias falhas** - encontrar outra(s) série(s) (local) suficientemente perto ou em situação similar, em que os dados em falta na primeira série estejam preenchidos e em que haja suficientes dados em comum (mesmas datas)

### Regressão linear simples



$$y = a x$$

Crítérios:

$$a \approx 1$$

$$R^2 \approx 1$$

### Outros métodos

- Regressão linear múltipla
- Ponderação regional
- Método da razão normal
- Método do inverso do quadrado da distância



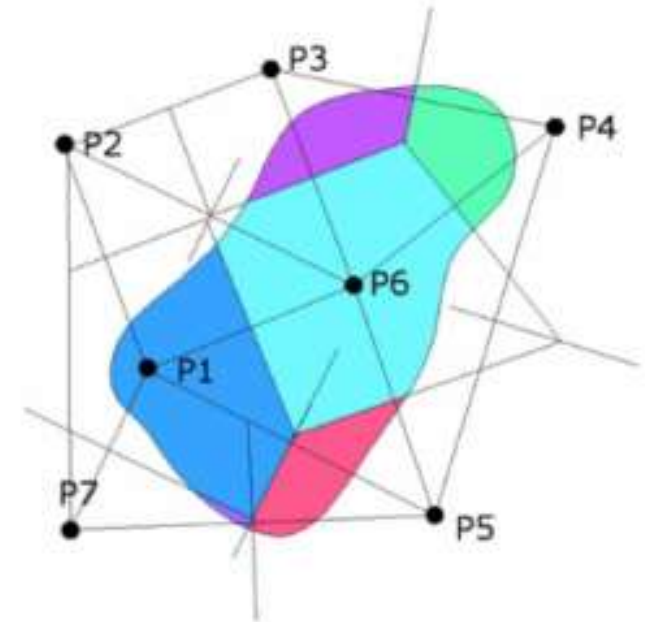
## SÉRIES METEOROLÓGICAS

Quando a zona é servida por várias estações meteorológicas, os valores a utilizar das variáveis meteorológicas devem ser obtidos por ponderação espacial

→ método dos polígonos de Thiessen

- Cada polígono define a área de influência em torno da estação meteorológica respectiva
- O valor obtém-se por ponderação, em que o peso de cada medição é a área de influência da estação

$$P = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n A_i P_i$$



## NECESSIDADES HÍDRICAS E DE REGA

---

### Necessidades hídricas

$$ET_c = K_c ETo$$

### Necessidades (líquidas) de rega

$$NLR = ET - (Pe - RO - DP) - AC - \Delta A$$

No nosso país e no mês mais desfavorável (Julho) normalmente  $NR = ET_c$

## Determinação do valor a usar no projecto

- Determinar o **maior valor** de  $ET_o / ET_c$  (valores mensais /valores decendiais) para cada ano da série de dados (**valor de ponta**)
- O valor escolhido para o projecto deve ser o associado à **probabilidade de ocorrência** (ou **período de retorno**) escolhido

Embora se possa usar aproximações estatísticas mais sofisticadas, usando as frequências associadas às respectivas distribuições (Gauss, Pearson, etc), normalmente usa-se a frequência empírica de Horton (percentis):

$$P = \frac{R_j}{N+1} 100$$

**P** probabilidade de ocorrência em %

**N** nº de valores da série considerada

**R<sub>j</sub>** posição do valor em análise na série de valores organizados por ordem crescente

## Exemplo

Série 1 : 18, 19, 20, 22, 24, 26, 29, 31, 35, 45, 61 (n = 11 )

Série 2: 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35 (n = 14)

Determinar o valor correspondente a uma probabilidade de ocorrência de 25%

### Série 1

$$P = \frac{R_j}{N+1} 100$$

$$25 = \frac{R_j}{11+1} 100$$

$$R_j = 3$$



**20**

### Série 2

$$P = \frac{R_j}{N+1} 100$$

$$25 = \frac{R_j}{14+1} 100$$

$$R_j = 3.75$$



**21.75**

## Período de retorno

(= *tempo de retorno, intervalo de recorrência ou tempo de recorrência*) é o intervalo estimado entre ocorrências de igual magnitude de um fenómeno natural (chuvas, ventos intensos, granizo, etc)

Este parâmetro estatístico tem grande utilidade para análises de risco e dimensionamento de obras de engenharia

Relação entre probabilidade de ocorrência (p) e período de retorno (Pr)

p (%)	Pr (anos)
10	1.1
50	2.0
60	2.5
75	4.0
80	5.0
90	10.0
95	20.0
96	25.0
97	33.3
98	50.0
99	100.0
99.8	500.0

$$Pr = \frac{100}{100 - P}$$

- Pr** período de retorno, em anos
- P** probabilidade de ocorrência, em percentagem

**Ex:** Período de retorno de determinado valor = 5 anos



Esse valor será, em média, excedido uma vez em cada cinco anos, embora não haja garantia que isso aconteça

ou

Há 80 % de probabilidade desse valor não ser excedido

## Período de retorno

Deverá ser escolhido em função de

- Custo da obra
- Vida útil/amortização
- Consequências em caso de falha (prejuízos materiais e humanos)
- Custos de reparação da obra
- Custos de manutenção

No caso de sistemas de rega, aconselha-se usar os valores seguintes:

- 80 % para as culturas anuais
- 90 % para os pomares.

## CAUDAL DE DIMENSIONAMENTO OU DE PROJECTO

---

- **Caudal de dimensionamento ou de projecto  $Q_d$**  ( $L s^{-1}$ )

$$Q_d = 2.78 \frac{D_T \cdot A}{T \cdot N}$$

- $Q_d$  caudal de dimensionamento em  $L s^{-1}$ ;
- $D_T$  dotação total de rega em mm (para o período considerado)
- $A$  área a regar em ha
- $T$  tempo de rega, em horas/dia de rega
- $N$  nº de dias de rega no período considerado

- **Caudal específico  $q$**  ( $L s^{-1} ha^{-1}$ ): caudal de dimensionamento expresso por unidade de área

$$q = \frac{Q_d}{A}$$

- **Caudal fictício contínuo** ( $L s^{-1}$ ): se a rega fosse contínua, ou seja 24 horas por dia, todos os dias