



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 para o qual o sistema de rega deve ser dimensionado

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,

$$D_u = ET_{diaria} \times \Delta t$$

Δt – intervalo entre regas

Dotação bruta de rega – valor afectado pela eficiência do sistema

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

D dotação de rega (mm),

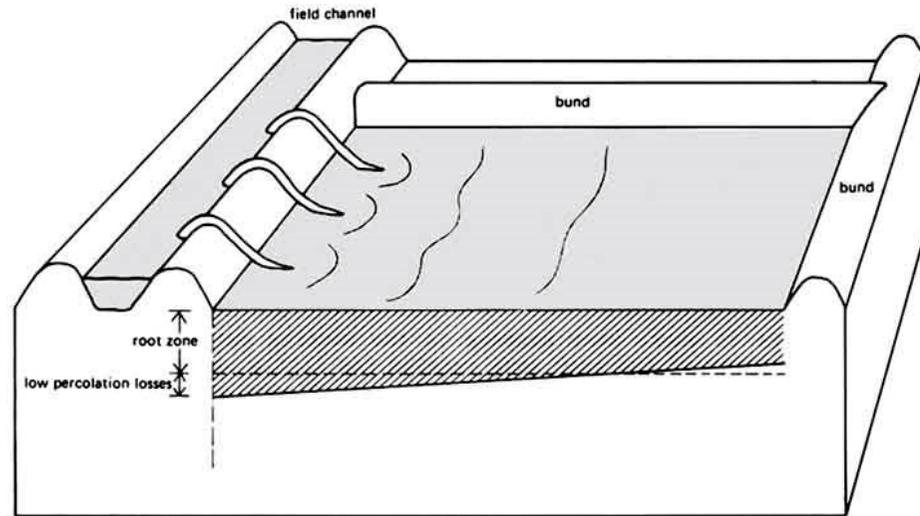
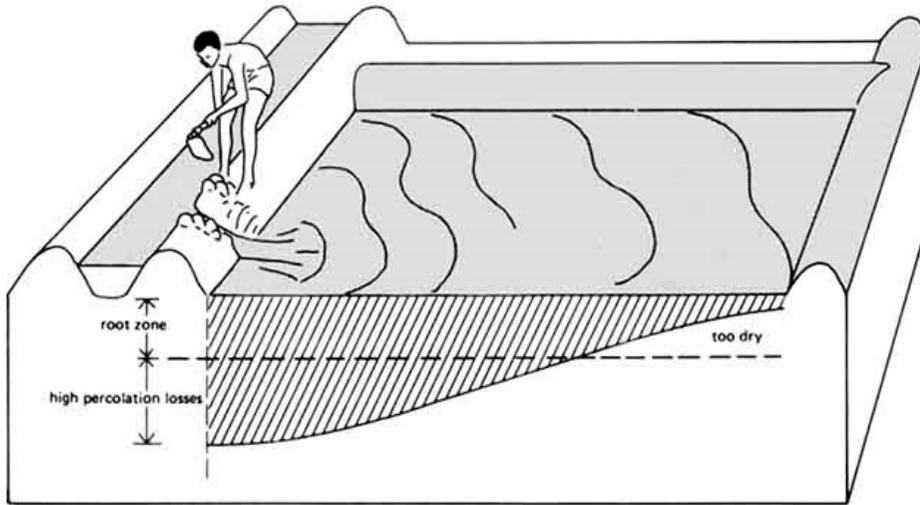
Ef eficiência de aplicação do sistema de rega

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



Rega de superfície

Perdas por evaporação nos sulcos e valas de transporte

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

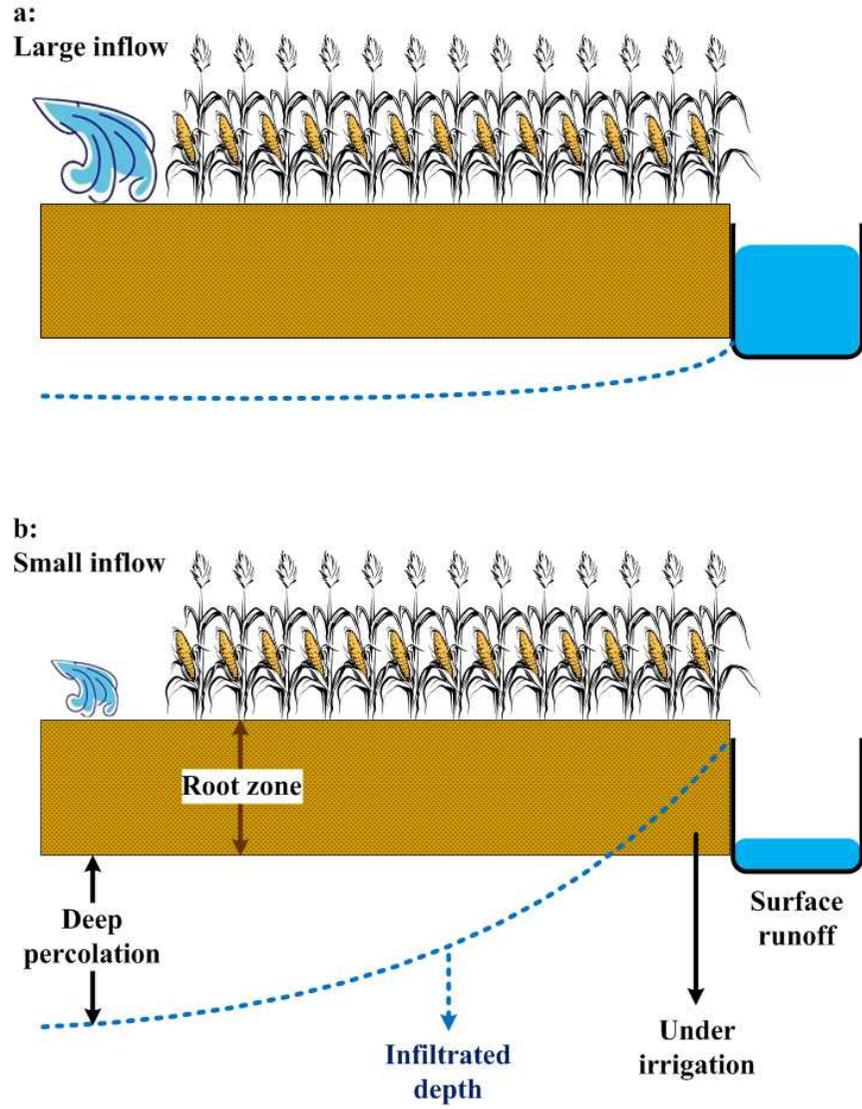
Perdas por percolação

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

Ef 40% – 70%

Perdas por escoamento superficial (sulcos abertos)

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



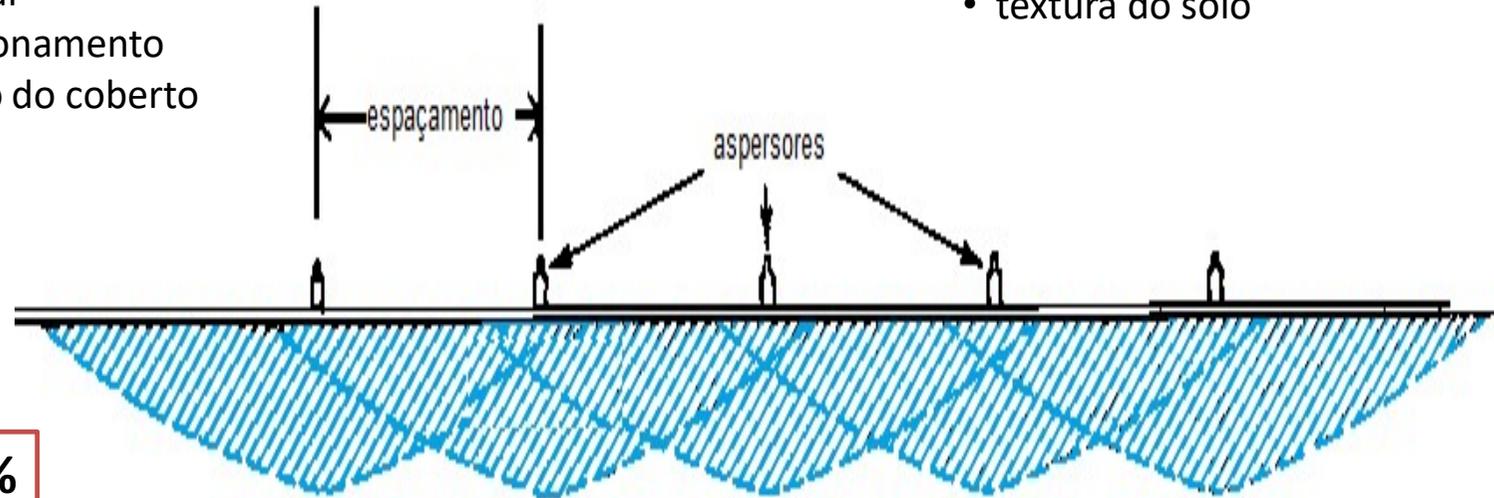
Perdas por evaporação, arrastamento pelo vento e interceptação

- 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%

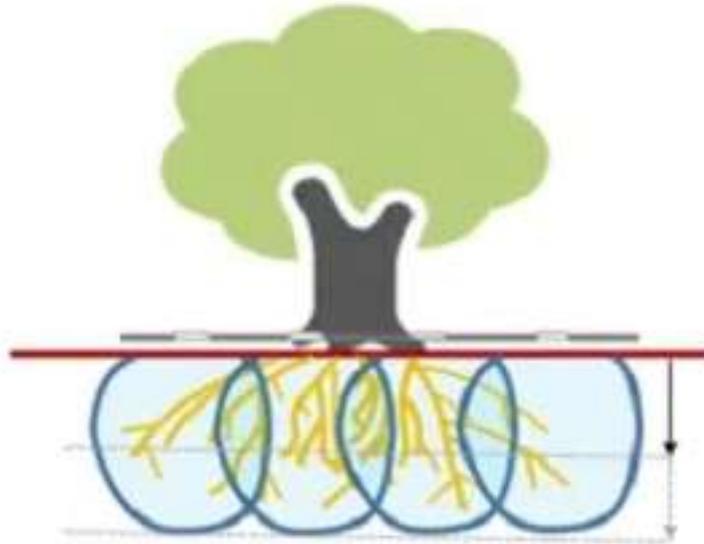
Perdas por escoamento superficial

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

Perdas por evaporação do solo (durante a rega)

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

Ef 90% – 95%



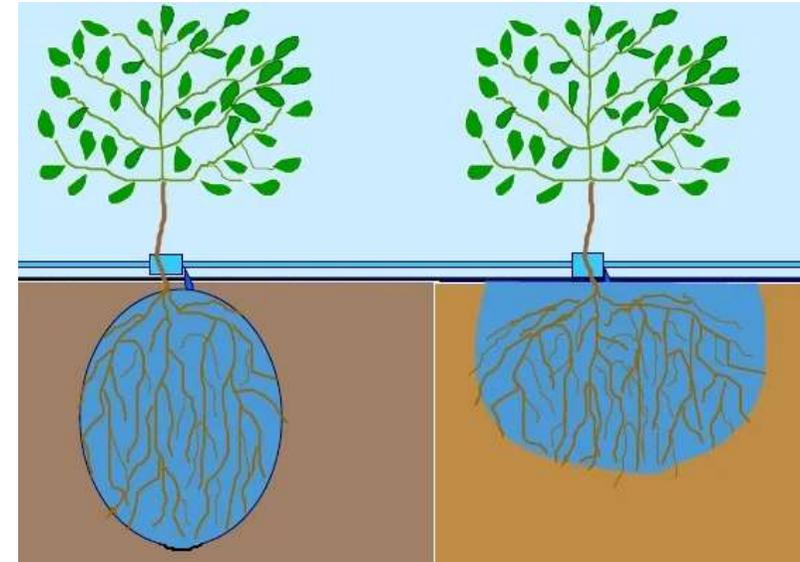
Perdas por escoamento superficial

- 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⁻¹)
 $CE_{e\ lim}$ salinidade do solo, determinada no extracto de saturação, tolerada pela cultura para que o nível de produção atinja um determinado valor (dS m⁻¹)
(Quadro FAO)

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

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)

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

Secção de E



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

https://arca.isa.ulisboa.pt/agricultura//agribase_temp/solos/

IPMA

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)

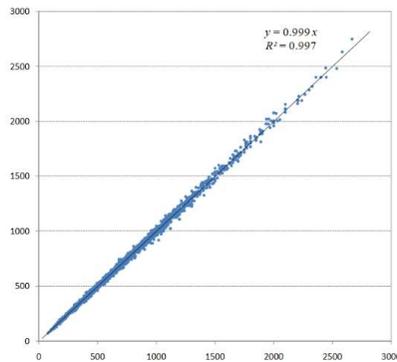
3. Devem ser completas

→ 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



$$y = a x$$

Critérios:

$$a \approx 1$$

$$R^2 \approx 1$$

Outros métodos

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

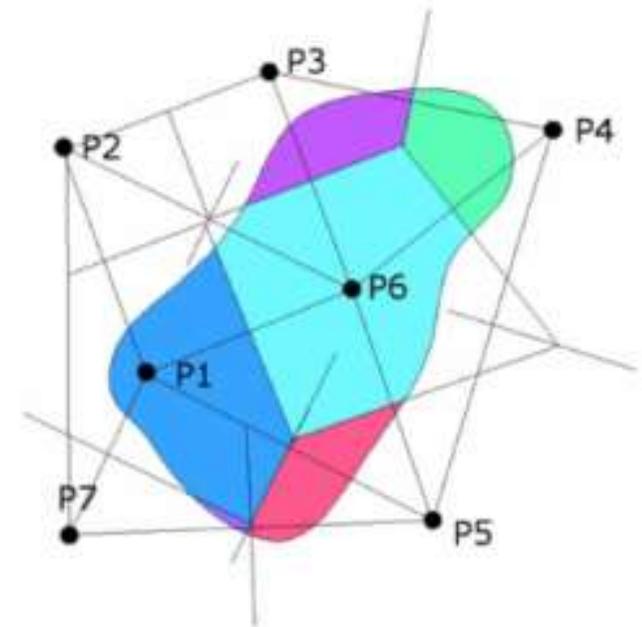
SÉRIES METEOROLÓGICAS

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 de rega

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

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_j 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.

Exercício

Utilizando a série de dados fornecida (Temp_Lx.xls) determinar a ET_c de projecto, considerando os seguintes pontos:

- ET_o : calculada com a fórmula de Hargreaves
- K_c : 1.15
- Valores decendiais e mensais

$$ET_o = 0.0023(T_{\text{mean}} + 17.8)(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} R_a$$

(ET_o e R_a nas mesmas unidades)

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