



Avaliação do desempenho de sistemas de rega localizada

Paula Paredes

pparedes@isa.ulisboa.pt

Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas
(DCEB), Secção de Engenharia Rural

Edifício Sertório do Monte Pereira, 1º piso, Gabinete 10

Secção de Engenharia Rural, ISA



Conteúdos da aula



- Objetivos da avaliação do desempenho dos sistemas
- Periodicidade da avaliação
- Componentes do sistema a serem avaliadas
- Atividades a serem desenvolvidas durante a avaliação do sistema
- Escolha da zona de ensaio/avaliação
- Variáveis a medir e indicadores a obter
- Equipamento a utilizar
- Sequência de procedimentos
- Cálculo de indicadores e interpretação dos resultados
- Principais causas para o mau desempenho dos sistemas de micro-rega
- Exemplo de resultados e exercício de aplicação

Avaliação do desempenho dos sistemas de rega



A avaliação de um sistema de rega localizada tem como objetivos:

- Avaliar a adequação do desenho, operação e manutenção do sistema de rega e identificar problemas;
- Analisar o funcionamento do sistema na prática do dia a dia, em termos de eficiência do sistema nomeadamente a uniformidade de distribuição da água
- Obter informação que permita melhorar o sistema particularmente em termos de otimização dos fatores água, energia, mão de obra e capital



Periodicidade da avaliação do sistema de rega gota-a-gota



- Após a sua instalação em campo, para verificar se as soluções de projecto estão bem adaptadas às condições de campo e para avaliar a uniformidade do sistema;
- No início de cada campanha de rega de modo a conhecer-se o estado de funcionamento do sistema;
- Sempre que se detectarem entupimentos dos emissores;
- Após cada tratamento de limpeza que for efectuado.

Sistema de filtragem



O sistema de filtragem pode ser constituído por filtros de diferentes tipos, cuja principal função é eliminar partículas e elementos indesejáveis que se encontram em suspensão na água, os quais podem causar entupimentos ao longo da rede de rega, particularmente ao nível dos emissores.



Importante: conhecer a capacidade de filtragem ou seja o caudal que o sistema é capaz de filtrar. A capacidade de filtragem deve ser igual ou superior ao caudal máximo que circula no cabeçal de rega

Na avaliação do equipamento de filtragem deve ter-se em atenção as **perdas de pressão** mediante a medição da pressão à entrada e saída de cada filtro mediante a leitura dos manómetros. A leitura da pressão permite calcular a **diferença de pressão** e **determinar quando a limpeza do filtro deve ser efetuada**.



Como regra geral a limpeza deve ser efetuada sempre que a **diferença de pressão seja superior a 0.5 a 0.6 bar**. O mesmo aplica-se aos **filtros auto-limpantes** Secção de Engenharia Rural, ISA



Na avaliação do sistema de filtragem deve-se atender ao estado de conservação do elemento filtrante (areia, malhas ou anilhas) já que deste dependerá o funcionamento do filtro e em grande medida do sistema de rega.



Malha 100
M502/2



Malha 80
M502/1



- Dados técnicos do sistema de filtragem a serem observados
1ª avaliação: número de filtros; localização dos filtros; capacidade de filtragem; pressão à entrada e à saída do filtro; características e conservação do equipamento; aspeto geral e manutenção dos filtros

Avaliações periódicas:

1. Pressão à entrada e saída dos filtros;
2. Data da última limpeza;
3. Características e conservação do equipamento;
4. Aspetto geral e manutenção dos filtros





Equipamento de fertirrega

- Avaliar pelo menos duas vezes em cada campanha de rega de modo a assegurar a correta taxa de aplicação em função das necessidades da cultura e do coeficiente de uniformidade do sistema de rega.



Bomba doseadora para correção de pH da água

- É necessário avaliar a capacidade, as doses de fertilizantes e o pH da água de rega nos últimos emissores para ver se se adequa à cultura que está a ser regada e os valores de pH (<7 , acidez) estabelecidos para controlo dos entupimentos dos emissores

Avaliação do equipamento de controlo e automatismos



- Registo do tipo dos elementos de controlo, **reguladores, válvulas**, quantidade existente, sua localização no sistema de rega.
- Avaliação das **juntas de modo a detetar fugas**
- Observar estado de **conservação das ligações elétricas** de modo a prevenir **corrosões e danos**.
- Anotar a localização dos **contadores volumétricos**



Reguladores de pressão



Pressostato

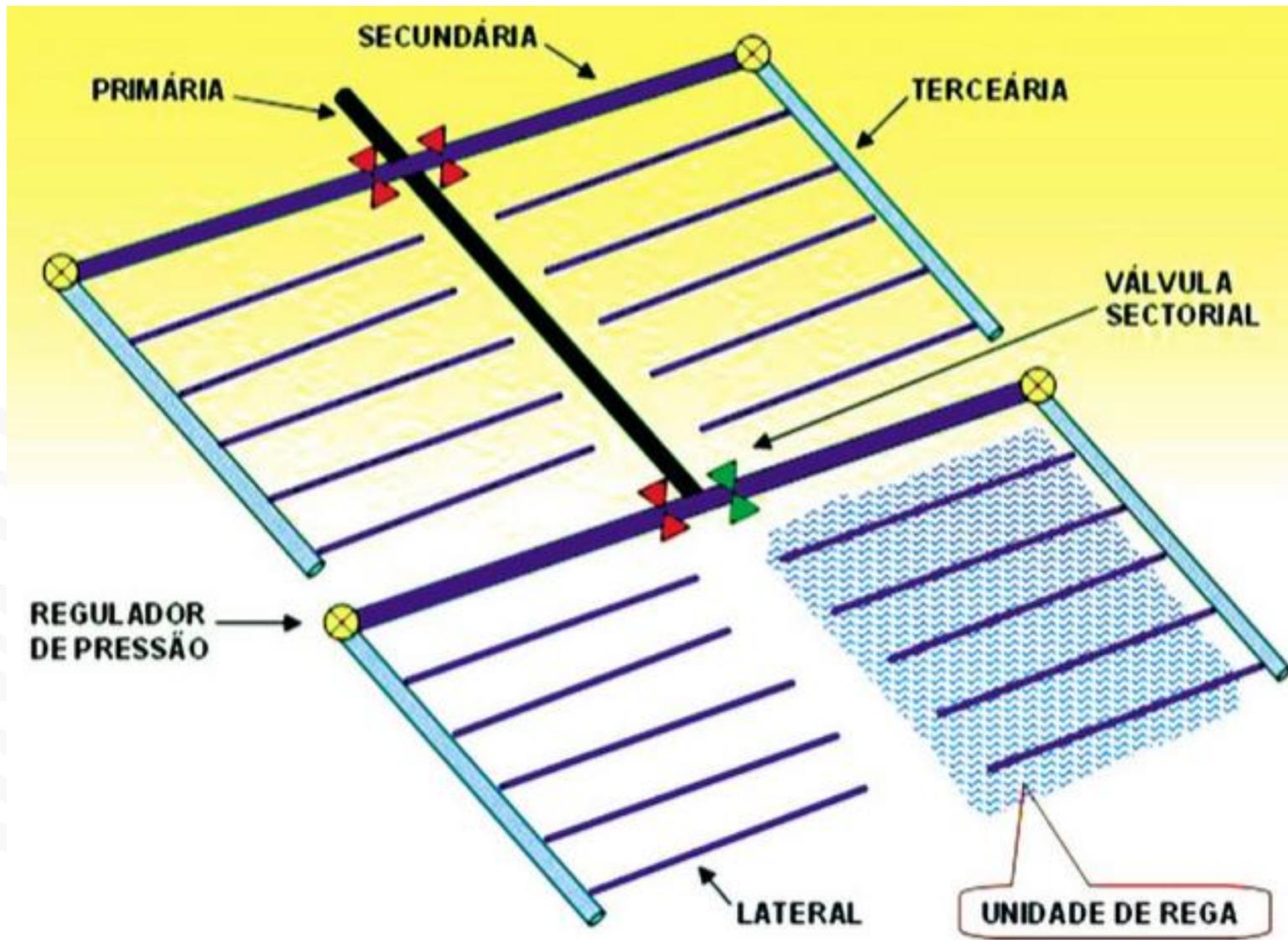


válvula redutora de pressão

Contador volumétrico

Electroválvula

Avaliação de sistemas de rega localizada



Atividades a serem desenvolvidas durante a avaliação do sistema



- Recolha de informação sobre a parcela e sistema de rega implementado (número de subsectores, superfície regada p/ sector, número de laterais, e espaçamento entre emissores e número)
- Escolha da zona de ensaio
- Conhecer a duração, frequência e sequência de rega
- Conhecer o déficit de gestão permitida no bolbo húmido
- Observar e registar a marca e modelo dos emissores
- Verificar as perdas de carga nos filtros
- Medir os caudais em diferentes locais
- Verificar a diferença de pressão no subsector avaliado
- Medir pressões mínimas nas tubagens terciárias de cada um dos subsectores que regam em simultâneo

Descrição das características das condutas, dos laterais e dos emissores

Catálogo de emissores, tubagens, etc de modo a posteriormente se confrontar com os dados de projeto

1. **Emissores**
 - Marca e tipo de emissor
 - Caudal nominal (L/h)
 - Pressão nominal (bar)
 - Distância entre emissores no lateral (m)
 - Ano de instalação

2. **Laterais**
 - Distância entre linhas de plantas (m)
 - Espaçamento entre plantas na linha (m)
 - Número de laterais por linha de plantação

3. **Características do equipamento de filtragem**
 - Tipo de filtragem
 - Pressão à entrada do sistema de filtragem (bar)
 - Pressão à saída do sistema de filtragem (bar)



Escolha da zona de ensaio/avaliação

- Um sector representativo que: será o de tamanho médio e cujo declive do terreno represente a média da exploração; estar situado numa zona central e cujos laterais tenham um comprimento médio.
- Caso seja necessário, também se pode avaliar o sector de rega que esteja na situação mais desfavorável, isto é, aquele que está mais distante ou mais próximo do cabeçal, consoante o declive que tenham os laterais ou a tubagem terciária de maior diâmetro e localizada em maiores declives.
- Uma vez eleito o sector de rega representativo da instalação, deve seleccionar-se o sub-sector (unidade de rega) mais representativo dentro do sector, no qual será feita a avaliação.
- O sistema de rega é posto a funcionar durante um período de tempo conhecido antes do início da avaliação.

Variáveis a medir e indicadores a obter



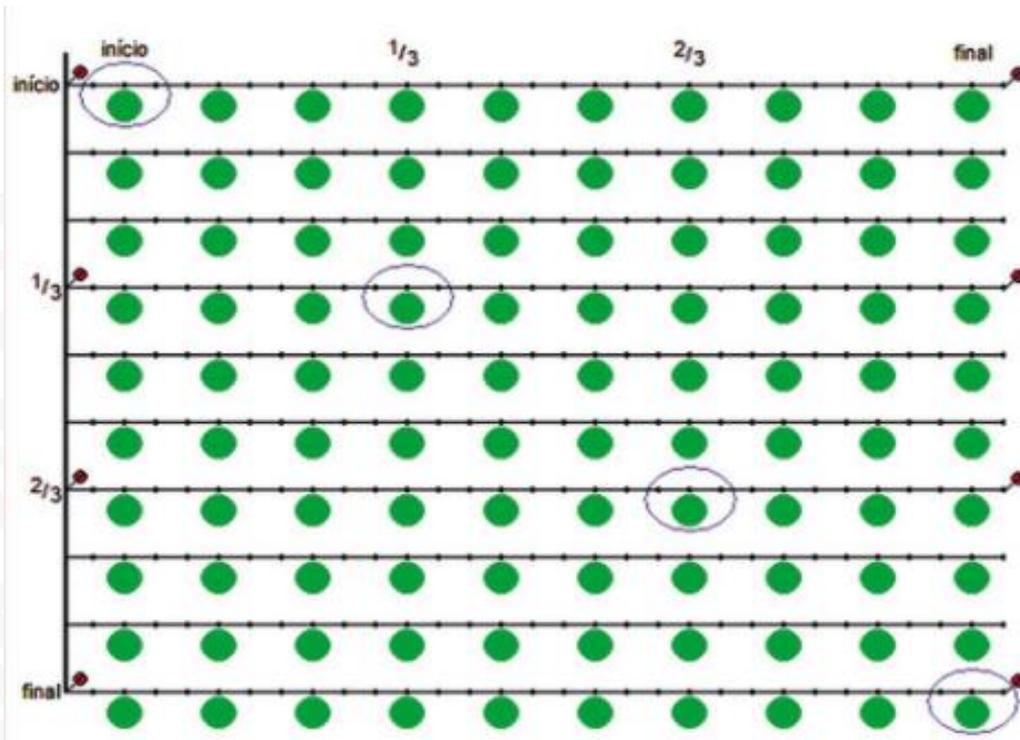
- Caudal e pressão à entrada do sistema
- Caudal e pressão mínima dos setores
- Caudal e pressão de funcionamento dos emissores
- Estado de funcionamento dos órgãos de medição, controlo e automação
- Coeficiente de uniformidade do sistema
- Dotação real aplicada
- Verificação do ajustamento do sistema de bombagem em relação às necessidades



Medição das pressões nos laterais

- A medição da pressão faz-se no início e no final de cada lateral selecionado para medição dos caudais.
- Assim obtém-se a diferença de pressão entre a entrada e o final de cada um dos 4 laterais eleitos:

pressão no início (ou *entrada*) - pressão no final (ou *saída*)



COTR, 2003

← lateral com gotejadores

● árvore

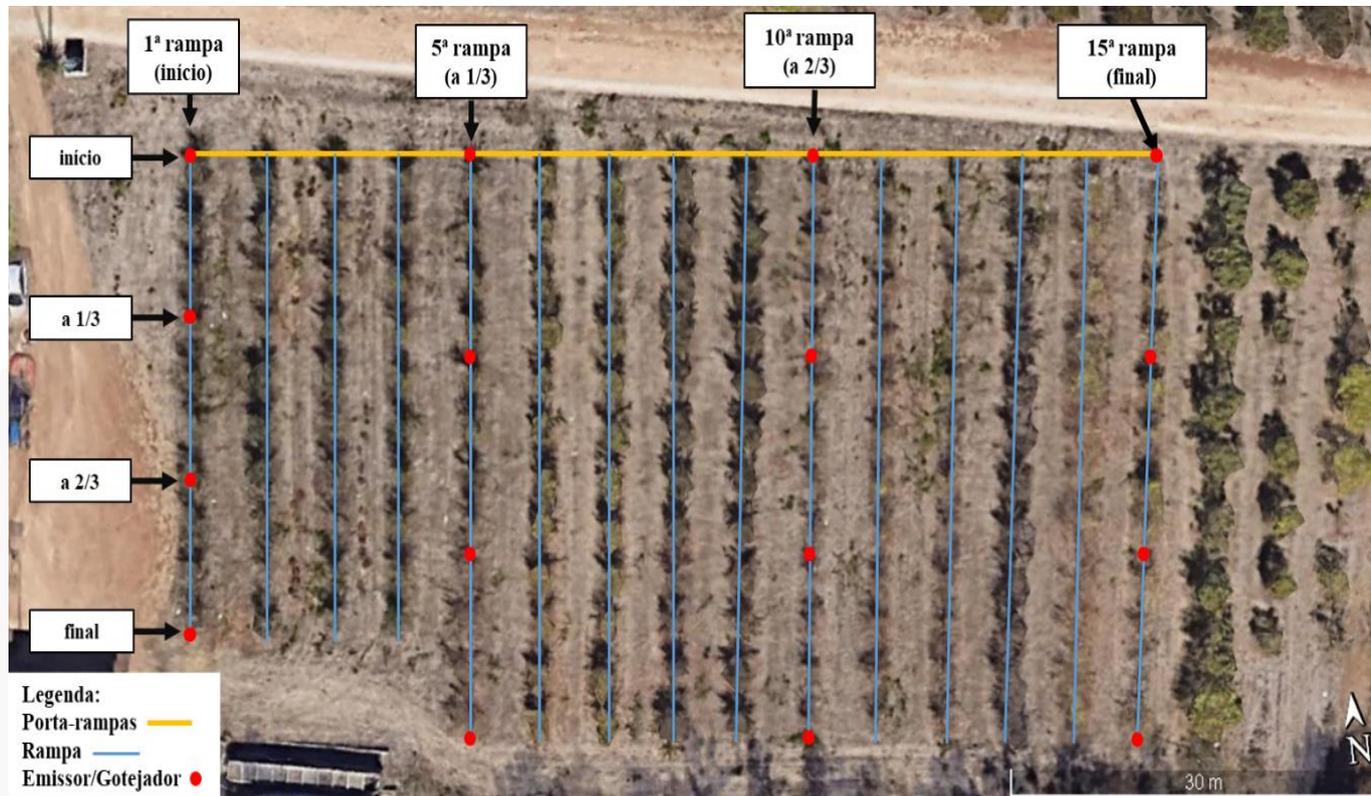
○ zona de estimativa da área molhada

• medição da pressão



Medição dos caudais nos emissores

1. Devem ser escolhidos **4 laterais**: um situado junto do **início** da linha de abastecimento, outro junto do **extremo oposto**, um outro situado a **1/3** da distância entre extremos e outro **2/3** da distância entre extremos, respectivamente.
2. Em cada lateral selecionado, escolhem-se **4 pontos de medição** situados de acordo com o mesmo esquema.



3. Em cada ponto o caudal será medido em **4 emissores** ou nos que regam 1 árvore, de modo a obter-se um valor médio para cada ponto.



- O caudal a medir nos 4 gotejadores deve ser recolhido num período de tempo relativamente pequeno mas igual para todos os gotejadores. Normalmente, o tempo de medição é de 1 a 5 minutos.



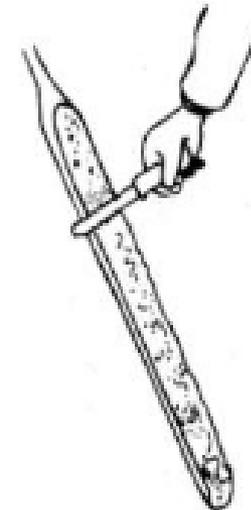
- Medição da profundidade de solo humedecida por cada emissor;



Equipamento a utilizar

- Manómetro de pressão (0 a 4 bar) com adaptadores;
 - Cronómetro ou um relógio com contador de segundos;
 - Fita métrica;
 - Sonda de meia cana, pá e enxada
 - Pluviómetro (ou copo), proveta e funil para recolher a água dos emissores;
-
- ❖ Catálogo dos equipamentos instalados (se possível);
 - ❖ Projeto da rede de rega ou um esquema da mesma e sua organização (se possível);
 - ❖ Formulário de recolha de dados da avaliação

Manómetros com adaptadores de agulha e terminal:



Os pluviômetros devem obedecer a algumas regras:



- Devem ser impermeáveis e todos iguais no tamanho e na forma;
- Devem apresentar uma altura pelo menos duas vezes superior à dotação média que se pretende aplicar;

- A recolha de água deve ser feita de manhã cedo para minimizar a ocorrência de evaporação da água a partir dos coletores





Qual a sequência de procedimentos?

1. Determinam-se indicadores de desempenho, ex: Uniformidade de Distribuição, com base em informação recolhida em campo;
2. Os indicadores são comparados com os valores esperados para o sistema;

3. É feito o diagnóstico do funcionamento do sistema, identificando-se as causas da não uniformidade como entupimentos ou perdas de água;



4. Atua-se sobre o sistema, de acordo com o diagnóstico, procedendo-se a adequações de procedimentos ou mesmo a alterações de equipamento.

Cálculo de indicadores e interpretação dos resultados



A partir dos dados recolhidos na avaliação do sistema podem determinar-se os seguintes indicadores

- Coeficiente de uniformidade das pressões (CUP, %):
- Caudal médio nos emissores (\bar{q})
- Desvio do caudal médio ao caudal nominal (\overline{Desv})
- Volume médio de água aplicado por árvore/rega (Várvore/rega)
- Dotação total de rega média aplicada (Z)
- Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD, %)
- Coeficiente de variação do caudal (CV, %)



➤ Coeficiente de uniformidade das pressões, CUP (%):

$$CUP = 100 \times \left(\frac{P_{\min}}{P_{\text{med}}} \right)^X$$

sendo P_{\min} a pressão média registada em 25% dos emissores que registaram as menores pressões, P_{med} a pressão média registada em todos os emissores e X o coeficiente de descarga do emissor.





Caudal médio nos emissores (\bar{q})

Para determinar o caudal médio vamos, primeiro, recorrer ao cálculo dos caudais (q) correspondentes a cada **volume recolhido nos gotejadores** (V_{med} , em ml) e depois **dividir** esse valor pelo **tempo de medição** (t , em min)

$$\bar{q} = \frac{V_{med}}{t} \times 0.06$$

O valor assim calculado vem expresso em l/h

O caudal médio (\bar{q}) será a média aritmética dos 64 valores calculados correspondentes a todas as medições efetuadas

Desvio do caudal médio ao caudal nominal (\overline{Desv})



O caudal nominal (q_{nom} , L/h) é o caudal dos gotejadores definido de fábrica

$$\overline{Desv} = \left(1 - \frac{q_{nom}}{\bar{q}}\right) \times 100$$

O valor do \overline{Desv} é expresso em percentagem (%)

**Volume médio de água aplicado por árvore/rega
($V_{\text{árvore/rega}}$, L)**

$$V_{\text{árvore/rega}} = N_{\text{emissores/árvore}} \times \bar{q} \times \text{duração rega}$$

Dotação total de rega média aplicada (Z)



A dotação total de rega média aplicada expressa em milímetros obtém-se da seguinte expressão

$$Z = \frac{\bar{V}}{A_{\text{pluviómetro}}} \times 10$$

Com V (ml), e A_{pluv} (cm^2)

A_{pluv} é a área do pluviómetro = $\pi \times R^2$

e R é o raio do pluviómetro

Coeficiente de uniformidade de distribuição



- O valor da uniformidade dos caudais reflete a variabilidade do volume de água aplicado sobre a parcela a regar.
- Um valor elevado da uniformidade de distribuição significa que a maior parte da área regada recebeu igual quantidade de água.
- Para o seu cálculo é necessário determinar o caudal médio no quartil mínimo:
Ordenam-se os débitos medidos nos gotejadores por ordem crescente e selecionam-se os valores correspondentes aos 25% mais baixos, calculando a sua média.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), expresso em percentagem (%), será dado por:

$$CUD = \frac{q_{\text{quartil min}}}{\bar{q}} \times 100$$



Em função do valor obtido, a uniformidade de rega será **excelente**, **boa**, **aceitável**, **fraca** ou **inaceitável**, em função dos valores de referência da tabela seguinte:

Norma da qualidade da aplicação de água	Coeficiente de uniformidade (CUD)
Excelente	$CUD \geq 95\%$
Boa	$85 < CUD < 95\%$
Aceitável	$80 < CUD < 85\%$
Fraca	$70 < CUD < 80$
Inaceitável	$CUD \leq 70\%$

Coeficiente de variação total do caudal (CV)



- A determinação deste parâmetro é importante para tirarmos conclusões acerca das **variações dos caudais em todo o sector de rega**. Para tal é necessário proceder ao cálculo do desvio padrão (*DesvPad*) dos débitos recolhidos (L/h).
- O valor do coeficiente de variação do caudal (*CV*), expresso em percentagem (%), é assim dado por:

$$CV = \frac{Desvpad}{\bar{q}} \times 100$$

A classificação deste parâmetro é feita de acordo com os valores de referência da seguinte tabela:

Norma da variação dos caudais	Coeficiente de variação dos caudais (%)
Excelente	$CV \leq 5\%$
Aceitável	$5 < CV \leq 10\%$
Mau	$10 < CV < 15$
Inaceitável	$CV \geq 15\%$



- ❖ Variação da pressão nos emissores superior a 30%
- ❖ Variação de caudal nos emissores superior a 15%
- ❖ Coeficiente de uniformidade de distribuição inferior a 75%, e nos gotejadores autocompensantes inferiores a 80%
- ❖ Falta de homogeneidade dos modelos dos emissores dentro do setor
- ❖ Pressão nos emissores fora do intervalo de compensação dos emissores



Principais causas para o mau desempenho dos sistemas de micro-rega i.e. $CU < 80\%$

- Obstrução dos emissores (sistema de filtração mal dimensionado ou precipitados que se formam devido a água de má qualidade);



- Sistema de filtração desajustados às condições de filtração;



- Fugas de água ao nível: cabeçais de rega; rede primária; laterais, válvulas



Principais causas para o mau desempenho dos sistemas de micro-rega i.e. $CU < 80\%$

- Laterais completamente enterrados ou ocorrência de estrangulamentos dos laterais por objetos (e.g. pedras);
- Desconhecimento por parte do utilizador dos equipamentos e do esquema de rega;



- Dimensionamento inadequado do sistema de rega (perdas de carga e desníveis mal considerados, sistema de bombagem que fornece pressão insuficiente, não uniformidade no espaçamento dos emissores)

IDENTIFICAÇÃO

Proprietário
Localização
Cultura
Data



CARACTERÍSTICAS DOS GOTEJADORES

Marca e modelo	Autocompensante	
Tipo de emissor	4	l/h
Caudal nominal	a	kPa
Pressão nominal	6 X 7	m ²



RESULTADOS

Caudal médio medido nos emissores	3.0	l/h
Pressão mínima e máxima medidas nos emissores	200 e 245	kPa
Volume médio aplicado por árvore e por hora	11.6	l
Dotação média aplicada	0.3	mm

Coefficiente de Uniformidade dos Caudais (%) 79.5

Coefficiente de Variação dos Caudais (%) 19.05

Norma da Variação dos Caudais

Bom CV < 5%
Aceitável 5 < CV < 10%
Inaceitável CV > 10%



aceitável

Coefficiente de Uniformidade das Pressões (%) 97.2

Coefficiente de Uniformidade do Sector - CU (%) 79.5

Norma da Qualidade da Aplicação de Água

Excelente CU > 95 %
Boa 85 < CU < 95 %
Aceitável 80 < CU < 85 %
Inaceitável CU < 80 %



aceitável Aplicação de Água

Eficiência Aplicação do Sector - EA (%) 71.5

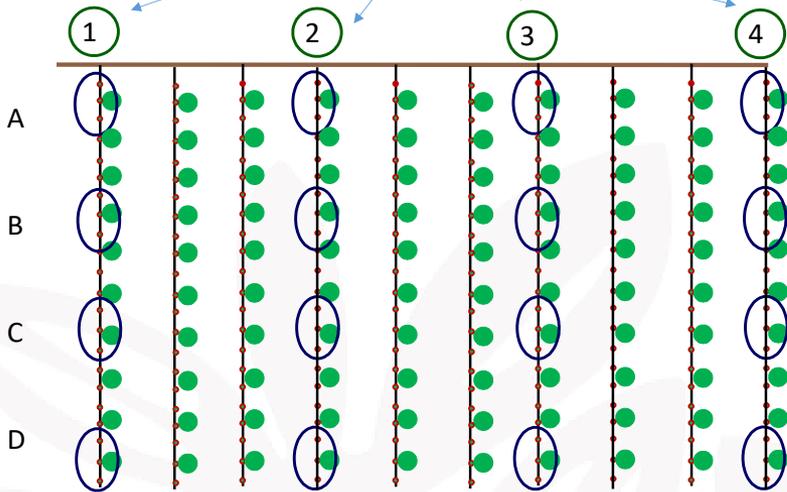


5. Exemplo de aplicação

- Volumes recolhidos nos emissores em teste, V (ml)

Seleção dos ramos e dos gotejadores a avaliar

Ramais selecionados



	Ramal 1	Ramal 2	Ramal 3	Ramal 4
Emissor	Volume recolhido em 15 min de funcionamento (ml)			
A	830	790	750	740
B	800	750	702	693
C	780	687	620	520
D	700	664	560	480

- Determinação dos caudais dos emissores, $q \text{ (L h}^{-1}\text{)} = (V \times 0.06) / \text{tempo de recolha}$

	Ramal 1	Ramal 2	Ramal 3	Ramal 4
Emissor	Caudal dos emissores, q (L h ⁻¹)			
A	3.32	3.16	3.00	2.96
B	3.20	3.00	2.81	2.77
C	3.12	2.75	2.48	2.08
D	2.80	2.66	2.24	1.92

- Árvore
- Ramal com gotejadores
- Zonas de medição de caudais



6. Resultados de avaliações de um sistema de rega localizada

Sistema/localização	CUD (%)	CV (%)
N	71.4	64.8
O	95.2	5.3
P	95.6	5.1
Q	97.0	3.8
R	86.7	16.0
S	95.4	5.7
T	92.8	5.3

deve-se essencialmente ao entupimento dos emissores.

Coeficiente de uniformidade de distribuição CUD (%)
Coeficiente de variação do caudal CV (%)

Exercício sobre Avaliação de sistemas de rega localizada



Na avaliação de uma instalação de rega gota-a-gota numa vinha da região de Beja, mediram-se 64 valores de volume debitado pelos gotejadores num dado subsector de rega. Os valores apresentam-se por ordem crescente na tabela abaixo:

1) Calcule os caudais correspondentes em l/h e o caudal médio, sabendo que o tempo de medição do volume foi de 1 min.

| Volume (ml) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 47 | 55 | 58 | 61 | 64 | 68 |
| 48 | 55 | 58 | 61 | 64 | 68 |
| 49 | 55 | 58 | 62 | 64 | |
| 49 | 55 | 59 | 62 | 64 | |
| 50 | 55 | 60 | 62 | 65 | |
| 50 | 56 | 60 | 62 | 65 | |
| 50 | 56 | 60 | 62 | 65 | |
| 51 | 57 | 60 | 62 | 66 | |
| 51 | 57 | 60 | 62 | 66 | |
| 51 | 58 | 60 | 62 | 66 | |
| 52 | 58 | 60 | 62 | 67 | |
| 52 | 58 | 60 | 62 | 67 | |
| 53 | 58 | 60 | 63 | 67 | |
| 53 | 58 | 61 | 63 | 67 | |



Volume (ml)	L/h										
47	2.82	55	3.3	58	3.48	61	3.66	64	3.84	68	4.08
48	2.88	55	3.3	58	3.48	61	3.66	64	3.84	68	4.08
49	2.94	55	3.3	58	3.48	62	3.72	64	3.84		
49	2.94	55	3.3	59	3.54	62	3.72	64	3.84		
50	3	55	3.3	60	3.6	62	3.72	65	3.9		
50	3	56	3.36	60	3.6	62	3.72	65	3.9		
50	3	56	3.36	60	3.6	62	3.72	65	3.9		
51	3.06	57	3.42	60	3.6	62	3.72	66	3.96		
51	3.06	57	3.42	60	3.6	62	3.72	66	3.96		
51	3.06	58	3.48	60	3.6	62	3.72	66	3.96		
52	3.12	58	3.48	60	3.6	62	3.72	67	4.02		
52	3.12	58	3.48	60	3.6	62	3.72	67	4.02		
53	3.18	58	3.48	60	3.6	63	3.78	67	4.02		
53	3.18	58	3.48	61	3.66	63	3.78	67	4.02		

Caudal médio = 3.54 L/h



2) O compasso de plantação da vinha é 3 m x 1 m e os gotejadores estão distanciados de 1 m. Calcule o volume médio aplicado por planta por rega sabendo que a rega dura 1.5 horas.

$$V_{\text{árvore/rega}} = N_{\text{emissores/árvore}} \times \bar{q} \times \text{duração rega}$$

$$V_{\text{árvore/rega}} = 1 \times 3.54 \times 1.5 = 5.31 \text{ L}$$



3) Determine a dotação total de rega média aplicada, considerando que cada pluviómetro tinha um diâmetro de 6 cm

$$Z = \frac{\bar{V}}{A_{\text{pluviómetro}}} \times 10 \quad \text{Com } Z \text{ (mm), } V \text{ (ml), e } A_{\text{pluv}} \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$A_{\text{pluv}} \text{ é a área do pluviómetro} = \pi \times R^2 = 3.1416 \times (3)^2 = 28.27 \text{ cm}^2$$

$$Z = \frac{59}{28.27} \times 10 = 21 \text{ mm}$$



4) Calcule o caudal médio no quartil mínimo e o coeficiente de uniformidade dos caudais. Classifique a instalação de rega quanto à sua uniformidade de distribuição.

- Para o seu cálculo do **caudal médio no quartil mínimo**:
Selecionam-se os valores correspondentes aos 25% mais baixos, calculando a sua média. No presente caso $n=16$ emissores

$$\overline{q \text{ quatil min}} = 3.06 \text{ l/h}$$

$$\text{Caudal médio} = 3.54 \text{ l/h}$$

$$CUD = \frac{\overline{q \text{ quatil min}}}{\bar{q}} \times 100 = 86\%$$

uniformidade de rega é **boa**