



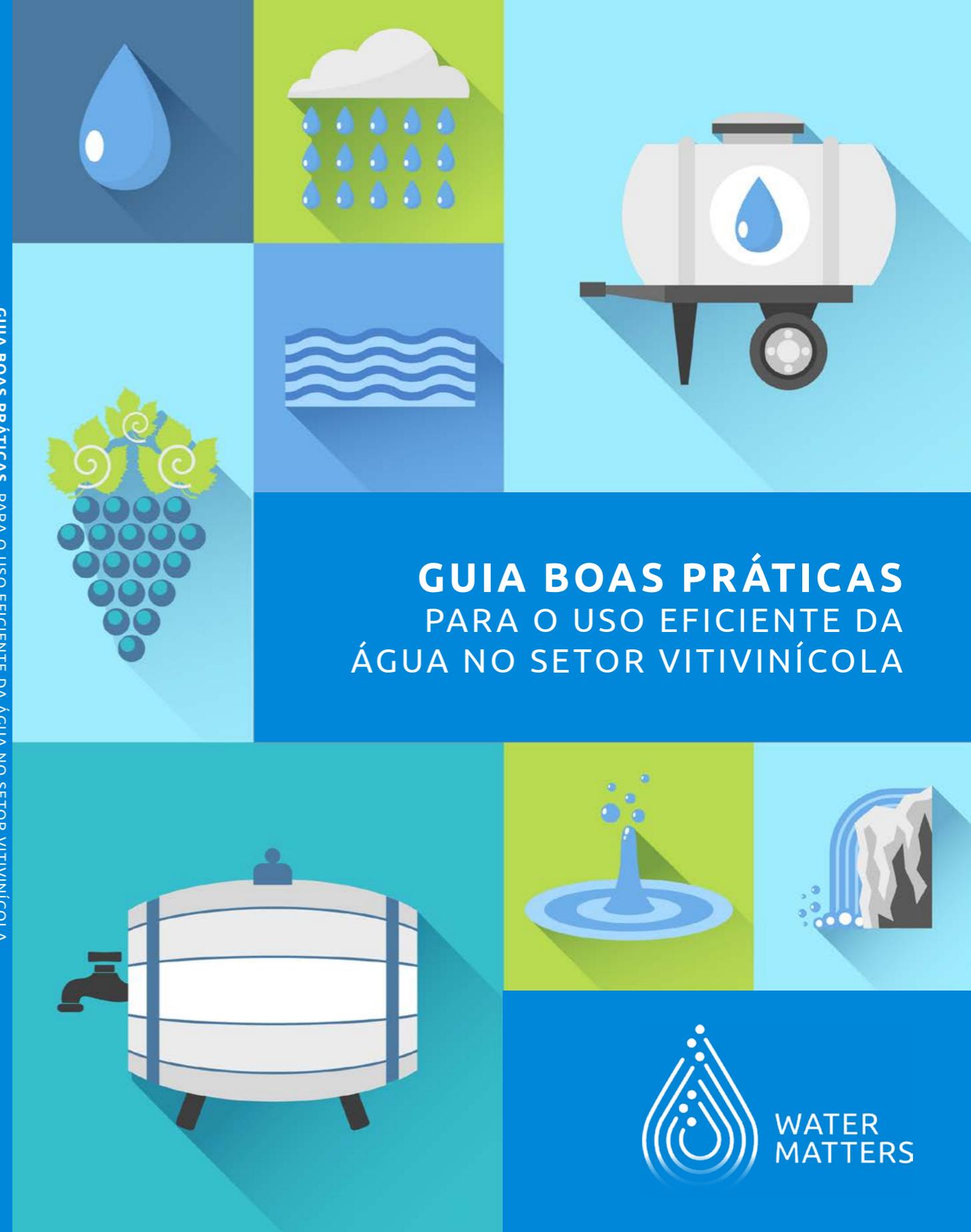
WATER  
MATTERS

[info@indice-consultores.pt](mailto:info@indice-consultores.pt)

[www.indice-consultores.pt](http://www.indice-consultores.pt)

[www.facebook.com/WaterMatters.PT/](https://www.facebook.com/WaterMatters.PT/)

GUIA BOAS PRÁTICAS PARA O USO EFICIENTE DA ÁGUA NO SETOR VITIVINÍCOLA



# GUIA BOAS PRÁTICAS PARA O USO EFICIENTE DA ÁGUA NO SETOR VITIVINÍCOLA



REPÚBLICA  
PORTUGUESA

AMBIENTE

FUNDO  
AMBIENTAL



ENEA  
2020  
ESTRATÉGIA NACIONAL  
DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL



AGÊNCIA  
PORTUGUESA  
DO AMBIENTE



WATER  
MATTERS

## FICHA TÉCNICA

TÍTULO | Guia Boas Práticas para o uso eficiente da água no setor vitivinícola

PROMOTOR | Índice ICT & Management

TEXTOS | (ESA-IPCB) Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco

AUTOR | António Canatário Duarte

EDIÇÃO | Índice ICT & Management

DESIGN E PAGINAÇÃO | Índice ICT & Management

IMPRESSÃO | Índice ICT & Management

ISBN | 978-989-20-9436-6

DATA PUBLICAÇÃO | Novembro 2018

PROJETO | Water Matters

COFINANCIAMENTO | Fundo Ambiental

CONTACTOS | Índice ICT & Management  
Av. Adelino Amaro da Costa,  
Lt.2 - 4º Piso - Escritório 4  
2419-001 Leiria  
Tel: +351 244 850 430  
leiria@indice-consultores.pt  
www.indice-consultores.pt



## Nota Curricular do Autor

### **António Canatário Duarte**

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária/Instituto Politécnico de Castelo Branco, Doutor em Agronomia pela Universidade de Córdoba (Espanha), Mestre em Engenharia da Rega e dos Recursos Agrícolas pelo Instituto Superior de Agronomia, Licenciado em Engenharia Agrícola-Ramo Científico-Tecnológico pela Universidade de Évora, Investigador do Centro de Estudos GEOBIOTEC (Polo da Universidade da Beira Interior), na área da Conservação do Solo e da Água nos sistemas agro-florestais.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>03</b>
1.1.	Breve consideração sobre o uso da água na agricultura .....	04
1.2.	Formas de exprimir o teor do solo em água .....	05
1.3.	Conceitos relacionados com a água do solo .....	07
<b>2</b>	<b>Evapotranspiração e necessidades hídricas .....</b>	<b>09</b>
2.1.	O processo de evapotranspiração e fatores de que depende .....	10
2.2.	Conceitos de evapotranspiração .....	10
2.3.	Necessidades hídricas da vinha .....	15
<b>3</b>	<b>Uso eficiente da água de rega .....</b>	<b>19</b>
3.1.	Sistemas de rega na cultura da vinha .....	20
3.2.	Indicadores de desempenho dos sistemas de rega .....	21
3.3.	Perdas de água nos sistemas de distribuição .....	21
3.4.	Medição de caudais de rega .....	23
3.5.	Avaliação de sistemas de rega localizada .....	27
3.6.	Serviços de aconselhamento ao regante .....	29
3.7.	Incentivos ao uso eficiente da água na vinha .....	31
<b>4</b>	<b>Formas de gestão da rega na vinha .....</b>	<b>35</b>
4.1.	Gestão da rega com recurso a dados meteorológicos .....	36
4.2.	Gestão da rega com sensores de humidade .....	38
4.3.	Gestão da rega com tecnologias inovadoras .....	41
4.4.	Estratégias de rega deficitária .....	43
<b>5</b>	<b>Bibliografia .....</b>	<b>45</b>

Introdução

1

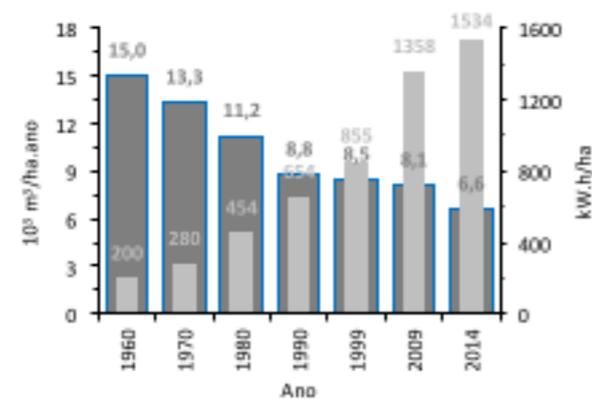
### 1.1. Breve consideração sobre o uso da água na agricultura

Nas regiões onde a demanda evaporativa da atmosfera é elevada, coincidindo na generalidade do território nacional com os meses de verão, a escassez de água compromete decisivamente a obtenção de produções com bons níveis de rentabilidade. No contexto atual da actividade agrícola, que se pretende competitiva num âmbito mais alargado de mercado, a maioria das culturas, sem a prática da rega, terão a sua viabilidade comprometida (Shaozhong *et al.*, 2017). Assim, a agricultura de regadio tem uma importância indiscutível na estrutura da produção final agrícola, já que permite fazer culturas com maior valor acrescentado que as tradicionais culturas de sequeiro. Atualmente, os cerca de 300 milhões de hectares de regadios existentes a nível mundial, representam unicamente 5% da superfície agrícola e contribuem com 35% da produção agrícola total (estatísticas da FAO).

A água, sendo um recurso natural vital para o desenvolvimento socioeconómico das populações rurais, e para o equilíbrio dos ecossistemas, deve merecer da parte dos múltiplos usuários uma especial atenção no seu uso racional. O bom uso da água tem implícito o seu gasto moderado e equilibrado, bem como a manutenção ou melhoria da sua qualidade depois de usado e lançado novamente no meio hídrico.

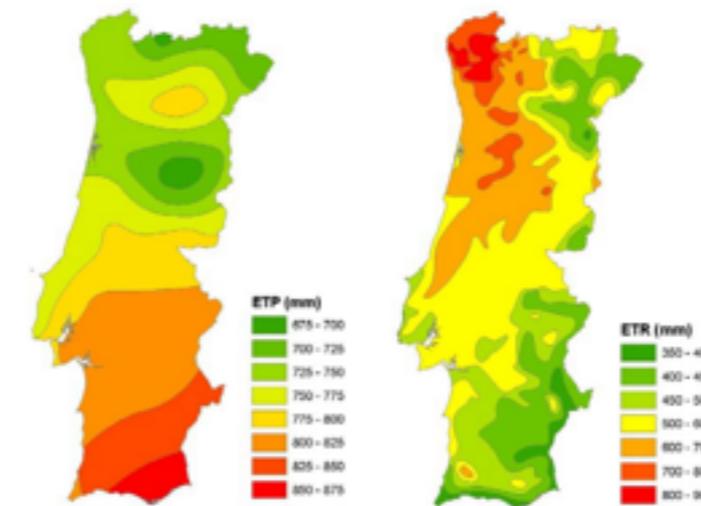
Os métodos de rega localizada, nas modalidades de mini-aspersão e gota-a-gota, são as alternativas de reconversão para métodos de rega que apliquem a água de forma mais eficiente. O alcance de boa performance destes sistemas de rega não dispensa a sua correta utilização, no que respeita à seleção do material, à sua disposição no terreno e à sua utilização durante a rega. Importa também mencionar o potencial de poupança de água, relacionado com a modernização e reabilitação da rede de distribuição de alguns aproveitamentos hidroagrícolas.

No último meio século podemos constatar um significativo aumento da eficiência no uso da água na agricultura, tendo passado de 15000 m<sup>3</sup>/ha.ano em 1960 para 6600 m<sup>3</sup>/ha.ano em 2014 (Figura 1), devido sobretudo à modernização dos sistemas de rega. Esta tem correspondido à substituição de sistemas de rega tradicionais com distribuição da água por gravidade, por sistemas automatizados e equipados com sistemas de bombagem que requerem energia para o seu funcionamento. Sendo assim, o consumo de energia aumentou fortemente no mesmo período de tempo, passando de 200 kW.h/ha em 1960 para 1534 kW.h/ha em 2014 (Figura 1). Por outro lado, a produtividade económica da água de rega (Valor Acrescentado Bruto/m<sup>3</sup> de água, calculado a preços constantes de 2006) aumentou na última década mais de 30% (Silva, 2012). É previsível que nos próximos anos a eficiência do uso da água no regadio continue a aumentar, impulsionada por programas operacionais, incentivos financeiros, e pelo uso de tecnologias inovadoras (Lorite *et al.*, 2004).



**Figura 1 – Evolução do consumo de água e de energia no território nacional, na prática da actividade agrícola de regadio (DGADR, 2016).**

As variáveis climáticas que influenciam a evapotranspiração (radiação solar, temperatura, humidade relativa e vento) atingem valores comparativamente mais elevados no sul do país, que determinam taxas elevadas daquele indicador da actividade fisiológica das plantas (FAO, 1998). Contudo, se a água não for fornecida às plantas através da rega, é a região norte do país que apresenta uma evapotranspiração real mais elevada, já que nesta região a escassez de água não representa um constrangimento tão significativo no desenvolvimento das plantas, como na região sul do país (Figura 2). É evidente que o potencial produtivo das culturas não se expressa apenas através do fornecimento conveniente de água, mas através de outras práticas tendentes à obtenção de boas produções, como sejam os níveis adequados de fertilização, o eficaz combate a pragas e doenças, entre outras (Duarte, 2006).

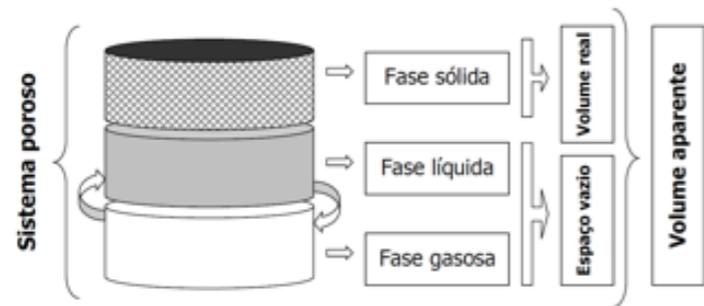


**Figura 2 – Evapotranspiração potencial (ETp) e Evapotranspiração real (ETr) no território nacional continental (MADRP, 2004).**

O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas alerta para o cenário de um clima mais seco acarretar menos água nos meios hídricos, acompanhado de perdas de 25% de volume de água destinada à agricultura. O desafio de manutenção dos níveis de produção e de conforto da população humana é tido como o maior desafio da civilização humana no presente século. Neste quadro de maior escassez de água, antevê-se um aumento considerável com os custos do regadio pela pressão da procura de água, pelo que o seu uso racional e eficiente, conjugado com preocupações ambientais, configura-se como uma questão incontornável na moderna agricultura de regadio. Deste modo, para a viabilidade e sustentabilidade da agricultura de regadio, torna-se decisivo um bom compromisso entre a produtividade agrícola e a proteção do meio ambiente.

### 1.2. Formas de exprimir o teor do solo em água

Os solos agrícolas são sistemas porosos, constituídos por uma fase sólida (fração mineral e orgânica), uma fase líquida (água com elementos minerais dissolvidos) e uma fase gasosa, havendo uma alternância entre as duas últimas fases (Figura 3). Num solo completamente seco existirá apenas fase gasosa, e num solo completamente saturado de água só existirá fase líquida; na maioria das situações, com o solo em processo de humedecimento ou de dessecação, coexistem as duas fases.



**Figura 3 – O solo como sistema poroso com fases sólida, líquida e gasosa.**

Considerando a forma como se estrutura o solo, referida anteriormente, existem várias formas de expressar a quantidade de água que existe no solo, a saber:

- **Altura pluviométrica (mm)** – Respeita à altura de coluna de água numa área de 1 m<sup>2</sup> de superfície, distribuída até determinada profundidade. Por exemplo se o solo apresentar um teor de humidade de 20 mm até à profundidade de 15 cm, significa que existem 20 litros de água por m<sup>2</sup> de área até essa profundidade. Para este exemplo a altura pluviométrica equivalente seria 1.33 mm/cm (20 mm/15 cm), supondo que a água está uniformemente distribuída nos 15 cm de espessura de solo.
- **Teor de humidade relativamente à massa de terra seca (%)** - Representa a massa de água relativamente à massa de terra seca expresso em percentagem, num determinado volume de solo. Tomando o exemplo do solo ter um teor de humidade de 15%, indica-nos que por cada 100 partes de solo seco (g, kg ou outra unidade de massa), existem adicionalmente 15 partes de água, num total de 115 partes de solo húmido.
- **Volume de água por unidade de volume de solo (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)** – Esta forma de expressar a quantidade de água no solo obvia um inconveniente do modo de expressão anterior, de o mesmo teor de humidade (em %) poder significar quantidades diferentes de água, se a massa de terra seca for diferente.

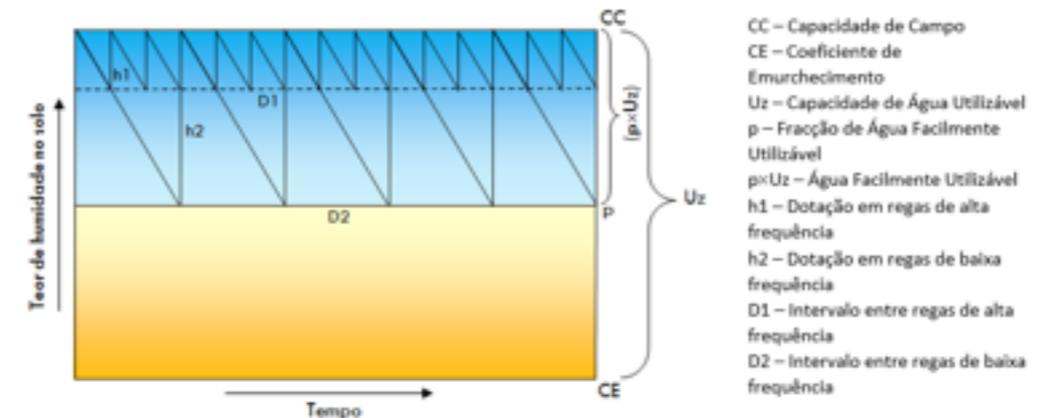
No Quadro 1 apresentam-se os fatores de conversão para expressar volumes de água em unidades diferentes. A última coluna do quadro refere-se à energia necessária para evaporar um determinado volume de água; para evaporar um litro de água num metro quadrado de área são necessários 2.45 MJ de energia.

**Quadro 1- Fatores de conversão para expressar volumes de água em unidades diferentes.**

FORMA DE EXPRESSÃO	Altura pluviométrica (mm/dia)	Volume por unidade de área (m <sup>3</sup> /ha.dia) (l/s.HA)		Energia por unidade de área (MJ/m <sup>2</sup> .dia)
1 mm/dia	1	10	0,116	2,45
1 m <sup>3</sup> /ha.dia	0,1	1	0,012	0,242
1 l/s.ha	8,640	86,40	1	21,17
1 MJ/m <sup>2</sup> .dia	0,408	4,082	0,047	1

### 1.3. Conceitos relacionados com a água do solo

Em situações de disponibilidade de água ao nível da exploração agrícola, e tomando um balanço hídrico simplificado do solo, uma gestão adequada da rega recomenda que, na ausência de chuva, a lâmina de água perdida pela evapotranspiração verificada num determinado período de tempo (por exemplo diário), seja reposta no solo sob a ação da rega. Em regas de alta frequência, como é o caso da rega gota-a-gota em pomares, o intervalo entre regas sucessivas é normalmente de um ou dois dias (D1), sendo aplicadas, por consequência, dotações mais baixas (h1). Noutras modalidades de gestão, os intervalos entes eventos de rega sucessivos são mais alargados (D2), sendo as correspondentes dotações mais elevadas (h2) (Figura 4). Em qualquer das estratégias de gestão da rega, não havendo escassez de água, deve estar presente o objetivo de não induzir *stress* hídrico nas plantas.



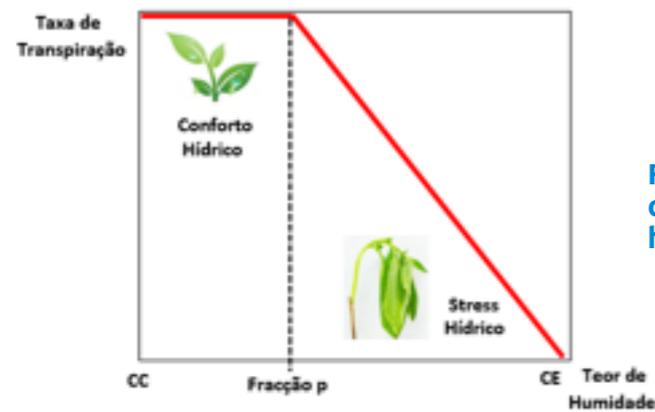
**Figura 4 – Constantes de humidade do solo, e sua relação com o armazenamento de água do solo e gestão da rega.**

No contexto das relações entre a água do solo e a fisiologia das plantas relativamente a este fator de produção, importa definir alguns conceitos que estão presentes na figura anterior. Na sequência de uma chuvada, ou de uma rega prolongada, nem todo o volume de água que o solo consegue armazenar de forma natural é útil para as plantas, estando balizado por um limite superior e um limite inferior de água útil do solo. O limite superior de água útil para as plantas denomina-se Capacidade de Campo (CC), e respeita ao volume de água armazenado no solo depois de ter cessado o movimento gravitacional da água no solo. O limite inferior de água útil denomina-se Coeficiente de Emurchecimento (CE), que, quando atingido, determina condições de secura irreversíveis nas plantas. As plantas não conseguem exercer sucções suficientes para dessecarem completamente o solo, pelo que quando é atingido o coeficiente de emurchecimento o solo ainda contém uma determinada quantidade de água, mais ou menos elevada dependendo sobretudo da classe textural dos solos (Oliveira, 2011). O teor de humidade (%), ou lâmina de água (mm), correspondente à diferença entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento, denomina-se de Capacidade de Água Utilizável (Uz), e pode calcular-se pela expressão seguinte:

$$U_z = (CC - CE) \times Dap \times Z$$

- Uz – Capacidade de água utilizável do solo (mm)
- CC – Teor de humidade, à capacidade de campo (%)
- CE – Teor de humidade, ao coeficiente de emurchecimento (%)
- Dap – Densidade aparente do solo
- Z – Espessura da camada de solo considerada (mm)

Segundo a hipótese formulada pela FAO, relativamente a esta temática, o teor de humidade no solo pode descer até um nível crítico (p) sem que seja afetada a atividade fisiológica máxima das plantas (as plantas não entram em situação de stress hídrico), denominando-se esta fração de Água Facilmente Utilizável (Figura 5). Depois de esgotada esta fração, é a oportunidade de regar repondo normalmente a capacidade inicial; este nível crítico será, numa aceção mais prática da questão, o Ponto de Rega. A fração de água facilmente utilizável depende da cultura, dado que as plantas têm características fisiológicas diferentes, e da demanda evaporativa da atmosfera, estimando-se que para condições de temperaturas elevadas e ar seco, os valores daquela fracção possam ser menores (mais restritivos) entre 10-25% relativamente aos valores tabelados para taxa de evapotranspiração diária de 5 mm (FAO, 1998).



**Figura 5 – Hipótese da FAO na definição da zona de conforto hídrico das plantas.**

## Evapotranspiração e Necessidades Hídricas

# 2

O conceito de necessidades hídricas de uma cultura pode ser definido como a quantidade de água de rega, complementar à precipitação, que é requerida pela cultura para alcançar os níveis de produção e qualidade pretendidos, ao mesmo tempo que permite manter um equilíbrio no balanço de sais na zona radicular.

## 2.1. O processo de evapotranspiração e fatores de que depende

O volume de água requerido pela cultura será o que, num determinado período de tempo e em determinadas condições de exploração e do meio, foi perdido por evaporação e por transpiração num processo conjunto denominado de evapotranspiração. As perdas de água por evaporação, processo essencialmente físico, verificam-se sobretudo a partir da camada superficial do solo; as perdas por transpiração, processo essencialmente fisiológico, ocorrem a partir dos estomas das plantas. A passagem da água líquida a vapor ocorre nos espaços intercelulares das folhas das plantas, sendo a sua passagem para a atmosfera controlada pela abertura estomática, que por sua vez é controlada por mecanismos hormonais. De referir que quase toda a água absorvida pelas raízes das plantas é transpirada para a atmosfera, sendo a restante parte mobilizada para a formação dos tecidos vegetais. A transpiração depende da energia solar disponível, do gradiente de pressão de vapor de água entre a câmara estomática e a atmosfera circundante das folhas, e da velocidade do vento. Portanto, para além dos fatores já referidos que influenciam este processo, também devem ser considerados a temperatura do ar e a humidade atmosférica, dada a interdependência entre estes fatores e alguns dos primeiros fatores referidos (Allen *et al*, 1998). O gradiente de pressão de vapor, originando fluxo da câmara estomática para a atmosfera circundante das folhas, transmite-se à coluna de água até às raízes das plantas determinando a absorção de água a partir do solo.

Dado serem diferentes as características da atividade fisiológica dos vários tipos de plantas, bem como as condições de exploração e do meio (tipo de solo, rega, fertilizações, controlo de doenças), são estabelecidos vários conceitos de evapotranspiração.

## 2.2. Conceitos de evapotranspiração

### 2.2.1. Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)

A Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), diz respeito à taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência (normalmente um relvado de gramíneas de 8 a 15 centímetros de altura), com um desenvolvimento uniforme, em bom estado fitossanitário e em crescimento ativo, que cobre todo o terreno e na condição de o teor de humidade do solo ser suficiente para satisfazer toda a sua potencialidade de transpiração e evaporação (Pereira, 2005). Este conceito de evapotranspiração, sob as condições especificadas, torna-se assim um parâmetro climático (Figura 6).



**Figura 6 – Parâmetros climáticos (radiação, temperatura, vento e humidade) e cultura de referência, necessários para a avaliação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>).**

A evapotranspiração de referência pode ser estimada em dispositivos denominados lisímetros, que consistem no isolamento de um volume de solo não perturbado, normalmente de forma paralelepípedica reta, assente num dispositivo de pesagem de precisão, revestido com a cultura de referência caracterizada anteriormente (Figura 7). Por aplicação do balanço de volume/massas em períodos pequenos entre entradas de água medidas (precipitação e rega), e saídas também medidas (percolação profunda), determina-se o volume de água perdido por evapotranspiração. Por se tratar de dispositivos caros e de instalação e funcionamento muito morosos, usam-se quase exclusivamente para testar outros métodos de cálculo da evapotranspiração.



**Figura 7 – Aspecto de um lisímetro para avaliação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) revestido com relva (cultura de referência), e espaço subterrâneo com destaque para a balança de precisão.**

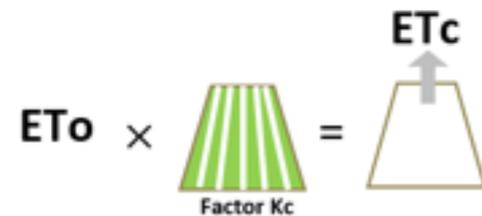
Das metodologias de cálculo da evapotranspiração disponíveis, a de Penman-Monteith é que produz resultados mais exactos e fiáveis, tanto em climas áridos como húmidos (Allen *et al*, 1998). Esta metodologia é traduzida pela fórmula seguinte.

$$ET_o = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \left( \frac{900}{T + 273} \right) \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times u_2)}$$

ET<sub>o</sub> – evapotranspiração de referência (mm/dia);  
 R<sub>n</sub> – radiação líquida na superfície da cultura de referência (MJ/m<sup>2</sup>.dia);  
 G – fluxo de calor do solo (MJ/m<sup>2</sup>.dia);  
 T – temperatura média do ar a 2 m de altura (°C);  
 u<sub>2</sub> – velocidade do vento a 2 m de altura (m/s);  
 e<sub>s</sub> – pressão de vapor de saturação (kPa);  
 e<sub>a</sub> – pressão real de vapor (kPa);  
 (e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub>) – deficit de pressão de vapor (kPa);  
 Δ - declive da curva de pressão de vapor (kPa/°C);  
 γ - constante psicrométrica (kPa/°C).

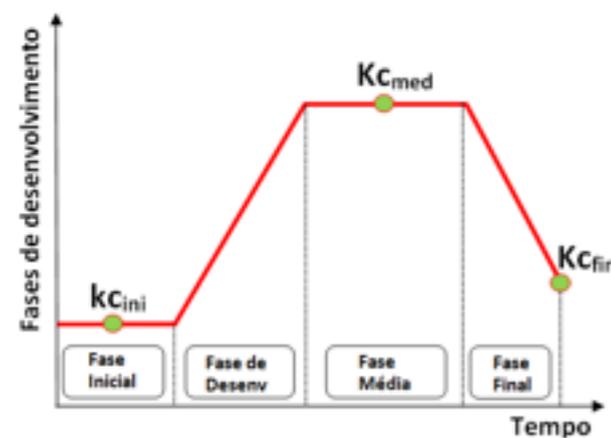
### 2.2.2. Evapotranspiração cultural (ETc)

A Evapotranspiração cultural (ETc), refere-se à perda de água para a atmosfera de uma determinada cultura que, sob determinadas condições climáticas (ETo), se desenvolve em condições ótimas de ambiente e manejo (Figura 8). A reposição de água, através da rega, numa taxa equivalente à ETc, conduz a uma produção otimizada nas condições climáticas especificadas. O fator kc (coeficiente cultural) contempla o efeito integrado das características de uma determinada cultura ao longo do seu período de desenvolvimento, como sejam, altura, albedo, resistência à transferência de vapor de água para a atmosfera (depende da área foliar, idade da cultura e do controlo estomático), e da evaporação da camada superficial do solo.



**Figura 8 – Evapotranspiração de referência (ETo) e características da cultura, contempladas no factor Kc, para avaliação da evapotranspiração cultural em condições agronómicas ótimas.**

No ciclo de desenvolvimento das culturas, e segundo a metodologia da FAO, são consideradas quatro fases, tendo inerentes diferentes valores do fator kc. O conhecimento da duração de cada fase de desenvolvimento, e dos três valores do fator kc previstos nesta metodologia, permite o desenho da curva daquele fator válida para o ciclo completo de desenvolvimento de determinada cultura (Figura 9). Com a disponibilidade de dados meteorológicos diários suficientes para cálculo da ETo, e conhecida a curva do fator kc, é possível o cálculo diário da ETc de uma cultura, ou seja das necessidades hídricas diárias. De referir que as diferenças entre a evaporação do solo e transpiração das plantas, podem ser estimadas com maior precisão utilizando um coeficiente dual da cultura (kc=ke+kcb). O coeficiente ke respeita à componente da evaporação que ocorre na superfície do solo. O coeficiente kcb (coeficiente basal da cultura) representa o quociente entre a ETc e a ETo quando a superfície do solo se encontra seca, mantendo-se a humidade do solo na zona radicular a um valor que não limita a evapotranspiração (Pereira, 2005). Esta é a situação que normalmente se verifica em sistemas de rega gota-a-gota, pelo que será mais adequado calcular a ETc com o coeficiente kcb.



**Figura 9 – Curva genérica do coeficiente Kc, válidos para cada fase do ciclo da cultura (fase inicial, fase de desenvolvimento, fase média ou de maturação e fase final).**

As fases de desenvolvimento da cultura denominam-se de inicial, de desenvolvimento ativo, média e final, e são diferenciadas da seguinte forma:

- **Fase inicial** – Tem lugar entre a data em que aparecem as primeiras folhas até quando a cultura cobre cerca de 10% do solo. Os valores de kc (ke+kcb) são elevados se a superfície do solo se encontrar húmida e baixos se a superfície estiver seca, uma vez que o valor de kcb é muito baixo. Na cultura da vinha esta fase verifica-se entre o início do abroalhamento, que depende das condições climáticas regionais e da aleatoriedade climática interanual, e o aparecimento dos primeiros cachos.
- **Fase de desenvolvimento** – Verifica-se desde o final da fase anterior até que a cultura atinja a máxima cobertura do solo. Na vinha ocorre desde o final da fase anterior até à floração.
- **Fase média** – Ocorre desde o final da etapa anterior até à completa maturação dos frutos. O coeficiente Kc atinge nesta fase o seu valor máximo. Na vinha esta fase tem lugar entre o final da fase anterior e o início da coloração das uvas (pintor).
- **Fase final** – Passa-se desde o final da fase anterior até algum tempo depois da colheita dos frutos. Assume-se que o cálculo da ETc termina no final desta fase. Na vinha verifica-se desde o final da fase anterior até à suspensão da rega, que tem lugar algumas semanas depois da colheita das uvas.

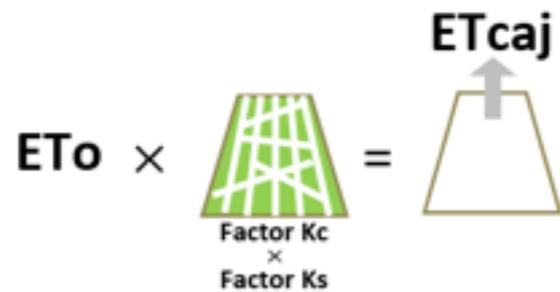
Tal como para a avaliação da evapotranspiração de referência, também se podem instalar lisímetros para medição da evapotranspiração de forma directa numa determinada cultura, obedecendo a sua instalação e funcionamento aos mesmos princípios. Na Figura 10 podemos observar o aspeto de um lisímetro instalado numa vinha.



**Figura 10 – Aspeto de um lisímetro para avaliação da evapotranspiração da cultura da vinha.**

### 2.2.3. Evapotranspiração cultural ajustada (ETcaj)

A Evapotranspiração cultural ajustada (ETcaj), é referente à evapotranspiração de uma cultura cujo desenvolvimento não se verifica em condições agronómicas e ambientais ótimas (stress hídrico, nutrição mineral insuficiente, sanidade vegetal deficiente, entre outras condições) (Figura 11).



**Figura 11 – Evapotranspiração de referência (ETo), características da cultura, e efeito de fatores de stress, nomeadamente hídrico, para avaliação da evapotranspiração cultural ajustada em condições agronómicas não óptimas.**

Quando o solo se encontra com teor de humidade elevado, o potencial total da água também é elevado, podendo movimentar-se com relativa facilidade no solo e ser extraída facilmente pelas raízes das plantas. À medida que o solo se vai dessecando a energia potencial da água baixa, sendo retida com mais energia na superfície das partículas mais finas da matriz do solo, o que determina que seja difícil a sua extração pelas plantas entrando estas em situação de stress hídrico. Os seus efeitos na transpiração das plantas estão contemplados num coeficiente Ks, que em situação de conforto hídrico assume o valor 1, sendo tanto menor que a unidade quanto maior for a situação de stress hídrico no solo (Figura 12).



**Figura 12 – Variação do coeficiente Ks entre os teores de humidades correspondentes às constantes de humidade capacidade de campo (θ<sub>FC</sub>) e coeficiente de emurchecimento (θ<sub>WP</sub>).**

O coeficiente Ks calcula-se pela seguinte expressão:

$$K_s = \frac{ADT - Dr}{ADT - AFA} = \frac{ADT - Dr}{(1 - p)ADT}$$

em que:

Dr – deficit de água no solo (mm);

ADT – água disponível total no solo na zona radicular (mm);

p – fracção da ADT que a cultura pode extrair do solo sem entrar em stress hídrico (AFD, água facilmente disponível).

### 2.3. Necessidades hídricas da vinha

A cultura da vinha (*Vitis vinifera* L.), em parte fruto da sua evolução em ambientes secos, toleram relativamente bem a escassez de água pelo seu metabolismo e pelas características vantajosas do seu sistema radicular na absorção de água. Em geral, quando estes atributos não são tidos em conta, a disponibilidade suficiente de água para esta cultura beneficia preferencialmente o crescimento vegetativo, muitas vezes em detrimento da qualidade das uvas para vinho. Deste modo, a rega torna-se necessária como medida de diminuição do stress hídrico, mas mantendo um certo déficit de água sobretudo na fase final de maturação das uvas para conservação de algumas substâncias que conferem qualidade ao vinho; valores de 60-70% de rega deficitária durante o ciclo da vinha são frequentemente referidos na literatura (Calera *et al*, 2016). A adaptação da vinha ao stress hídrico moderado, está relacionada com uma adaptação metabólica que determina um aumento de ácido abscísico (ABA, hormona vegetal produzida como resposta a factores de stress ambiental), produzido nas raízes em consequência da falta de água. Aquela hormona é transportada através do xilema da planta (onde ocorre o transporte de água) até às folhas, como instrução para que os estomas sejam fechados e seja reduzido, ou anulado, o processo de transpiração.

O déficit de água em qualquer cultura reflete-se no seu rendimento, e muitas vezes também na qualidade da produção, ainda que o resultado dependa da fase do ciclo das culturas em que se verificam condições de stress hídrico. Torna-se por isso importante conhecer as etapas de elevada sensibilidade à falta de água para um bom planeamento da rega, nomeadamente em condições de escassez daquele recurso. Na cultura da vinha a rega deve originar um balanceamento conveniente entre o volume de produção e a manutenção de um adequado grau alcoólico, e de concentração de polifenóis em variedades tintas. Uma parte importante das necessidades hídricas da vinha verifica-se entre o início da atividade fisiológica (abroilhamento), e a altura em que as uvas começam a ganhar coloração (fase pintor), diminuindo desde esta fase até à colheita. Referem-se a seguir particularidades do efeito do excesso de água em algumas fases do ciclo da vinha.

- na fase de floração dá lugar a um excessivo vigor das plantas, que pode ocasionar uma maturação deficiente das uvas;
- na fase de crescimento atrasa o início da coloração das uvas (fase de pintor), antecedendo o início da maturação dos frutos;
- a seguir ao início da coloração das uvas, aumenta o seu tamanho tornando-as mais pobres em açúcares e mais ricas em ácidos.

Atendendo às particularidades da fisiologia da cultura da vinha, grande parte referidas no texto anterior, a Direção Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR, 2018), recomenda dotações de referência para a rega da vinha nas várias regiões vitivinícolas de Portugal continental (Quadro 2; Figura 13).

**Quadro 2 - Dotações de referência para a rega da vinha nas regiões vitivinícolas de Portugal continental (mm) (DGADR, 2018).**

#### Regiões vitivinícolas de Portugal Continental

Vinhos Verdes	Trás-os-Montes	Douro	Beira Interior, Távora-Varosa e Lafões	Dão	Bairrada	Lisboa	Tejo	Península de Setúbal	Alentejo	Algarve
172	228	228	228	228	172	172	303	303	303	303

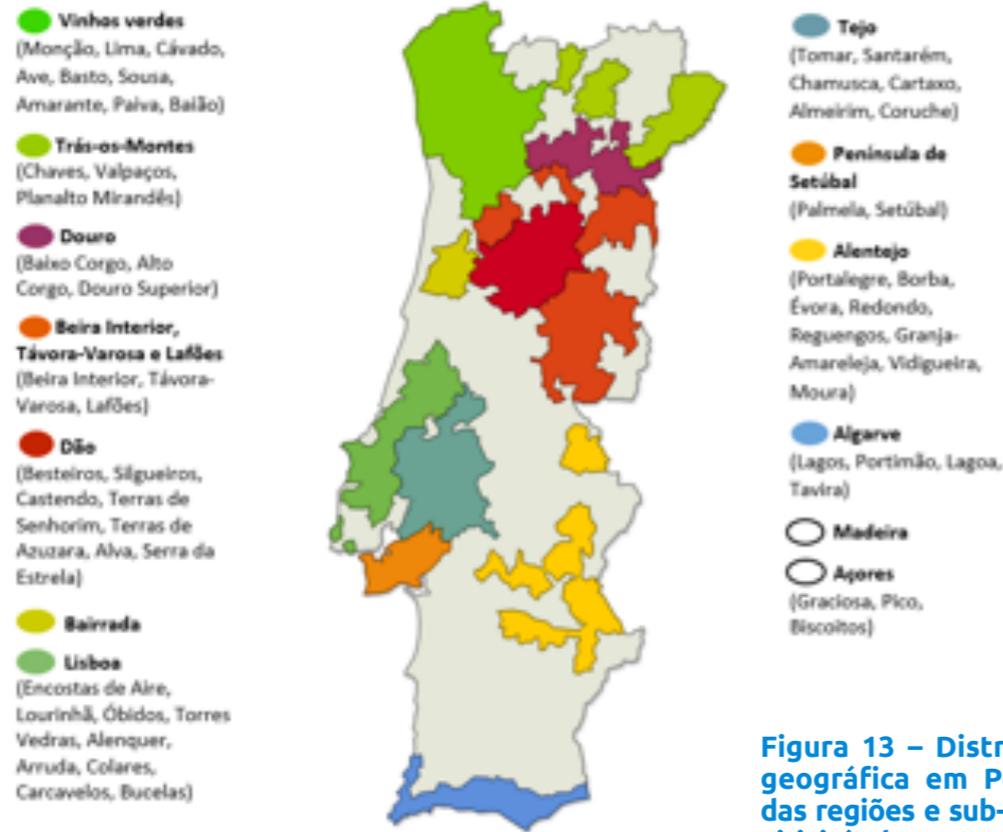


Figura 13 – Distribuição geográfica em Portugal das regiões e sub-regiões vitivinícolas.

Considerando os comentários anteriores a propósito da relativa resistência da vinha à falta de água, e do deficit hídrico poder contribuir para o incremento da qualidade do vinho, na Figura 14 apresenta-se uma simulação com o programa *CROPWAT 8.0* (FAO, 2018a), numa estratégia de rega deficitária ao longo de todo o ciclo da cultura. De referir que existem outros modelos para calcular as necessidades hídricas das culturas, que usam a mesma metodologia para o balanço hídrico do solo, como seja o modelo *WinISAREG* (Pereira *et al.*, 2003). Do balanço hídrico do solo para a vinha na zona de Évora, baseado em dados climáticos médios de vários anos, obtém-se necessidades de rega atuais de 212.8 mm (*Actual irrigation requirement*), valor próximo do que é usual praticar na região e que tem correspondência no valor constante no Quadro 2 para a região do Alentejo (303 mm), considerando que aquele valor comporta uma margem de segurança relativamente elevada. A satisfação das necessidades hídricas da vinha conta também, para além da rega, com 93.0 mm de precipitação efetiva, que neste contexto é relativa ao volume de água que se infiltra no solo e que influencia o balanço hídrico do solo.

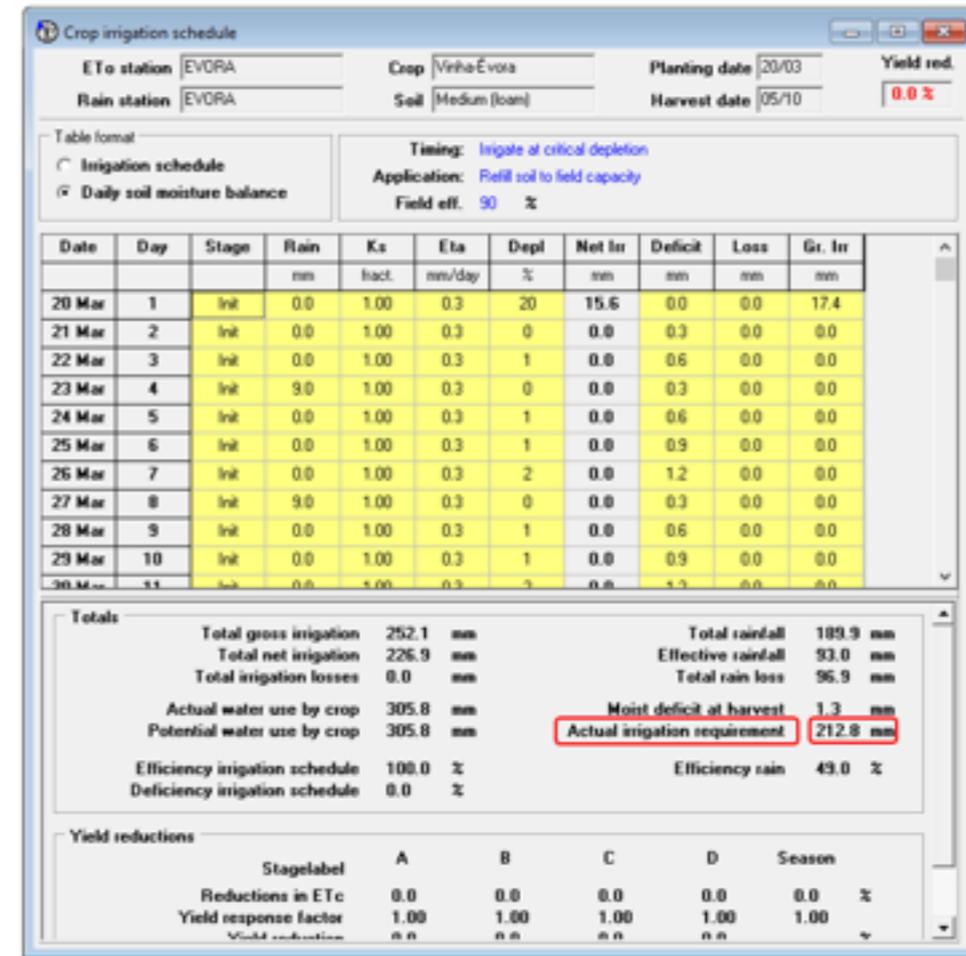


Figura 14 – Simulação com o Programa *CROPWAT 8.0* (FAO, 2018a) das necessidades hídricas da vinha, com base nos dados climáticos de Évora (*CLIMWAT 2.0*; FAO, 2018b) para ano médio.

A simulação do balanço hídrico do solo apresentado na Figura 14, considera a curva do coeficiente *Kcb* que se apresenta na Figura 15, cujos valores nas diferentes fases do ciclo refletem uma opção de estratégia da rega pela qualidade das uvas, em detrimento da maximização da produção. Os valores do coeficiente *Kcb* são similares aos usados no exemplo de estratégia de rega do Quadro 3 referente à região vitivinícola da Rioja (Espanha) (Urbina Vinos, 2018), no qual se evidencia a elevada redução da dotação total de rega (50%) na opção da qualidade das uvas.

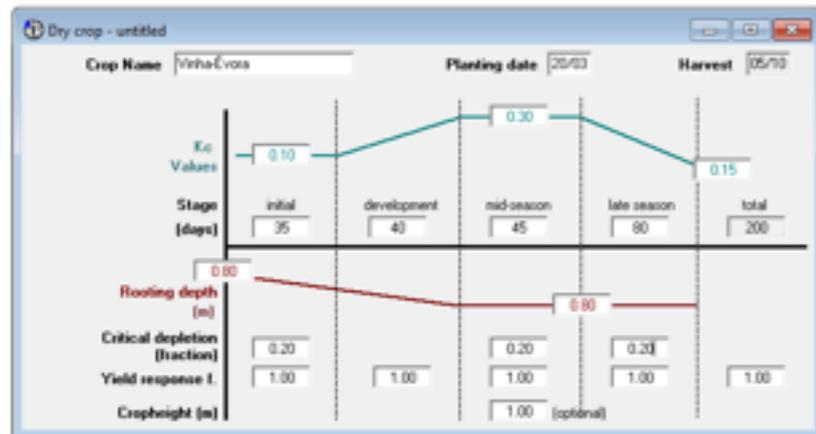


Figura 15 – Curva do fator Kc para a cultura da vinha para a região de Évora.

Mês	ET <sub>o</sub> (mm/mês)	Opção de Máxima Produção		Opção de Qualidade	
		Kc	ET <sub>c</sub> (mm/mês)	Kc	ET <sub>c</sub> (mm/mês)
Março	84	0.21	18		
Abril	110	0.21	23	0.20	22
Maio	150	0.35	52	0.25	37
Junho	170	0.50	85	0.30	51
Julho	205	0.50	102	0.25	51
Agosto	175	0.50	87	0.30	52
Setembro	122	0.49	60	0.30	37
Outubro	78	0.33	26	0.10	8
<b>TOTAL</b>	<b>1094</b>		<b>453</b>		<b>258</b>

Quadro 3 – Evapotranspiração de referência e cultural em estratégias de rega de produção máxima e de qualidade, na região de Rioja (Espanha) (Urbina Vinos, 2018).

Uso eficiente da  
água de rega

3

### 3.1. Sistemas de rega na cultura da vinha

Atualmente, os sistemas de rega que equipam a generalidade das vinhas são sistemas de rega localizada, sobretudo gota-a-gota. O grande interesse no seu uso fundamenta-se nas seguintes vantagens relativamente a outros métodos de rega (Pizarro, 1996): economia de água (redução das perdas por evaporação e humedecimento de apenas da fração do solo coberta pela cultura), possibilidade de emprego em realidades topográficas impeditivas do uso de outros sistemas, economia de mão-de-obra (possibilidade de automatização integral dos sistemas), elevada precisão na fertilização mineral (fertirrigação), maior facilidade de realização das operações culturais, utilização em condições meteorológicas adversas (sobretudo vento), menores consumos de energia (caudais e pressões de serviço menores e menor potência do sistema de bombagem). Apesar das inúmeras vantagens, estes sistemas de rega comportam também algumas desvantagens, sobretudo o elevado investimento inicial, os custos de funcionamento e a facilidade de entupimento dos emissores, dada a sua reduzida dimensão (0,5 – 1,1 mm). Esta última desvantagem constitui uma especificidade importante dos sistemas de rega gota-a-gota, que carece de um sistema eficiente de filtragem da água e uma adequada periodicidade de limpeza dos elementos filtrantes (Raposo, 1994). Outra especificidade que importa destacar é a forma como se desenvolve o perfil de humedecimento nos solos onde são instalados estes sistemas de rega. A sua forma depende sobretudo das características desse meio, como sejam a granulometria, estado de compactação, proporção relativa dos tipos de porosidade, sendo importantes na disposição e número dos gotejadores a instalar. Assim, num solo de textura ligeira o perfil de humedecimento apresenta um desenvolvimento mais rápido e sobretudo em profundidade, ao contrário de um solo de textura fina, em que o mesmo se desenvolve mais lentamente e transversalmente ao eixo vertical das plantas (Figura 16 e Figura 17). Nesta situação, para uma conveniente disponibilidade de água para as raízes, seria recomendável que no caso do solo de textura ligeira os emissores ficassem dispostos mais próximos e, portanto, em maior número por planta.

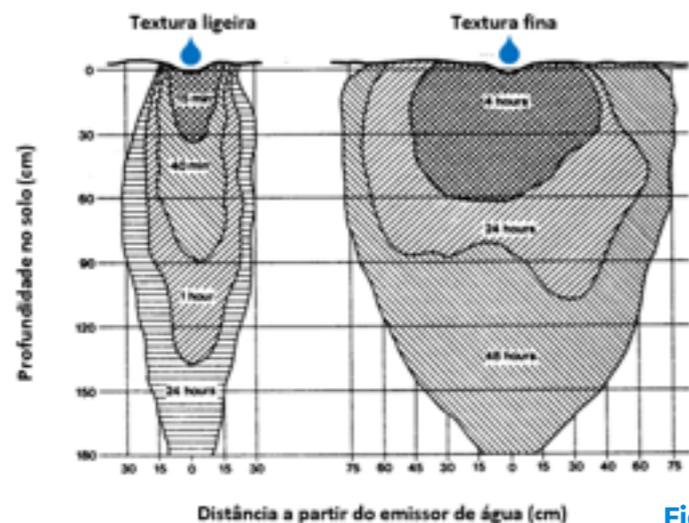


Figura 16 – Desenvolvimento de perfis de humedecimento num solo de textura ligeira e de textura fina.

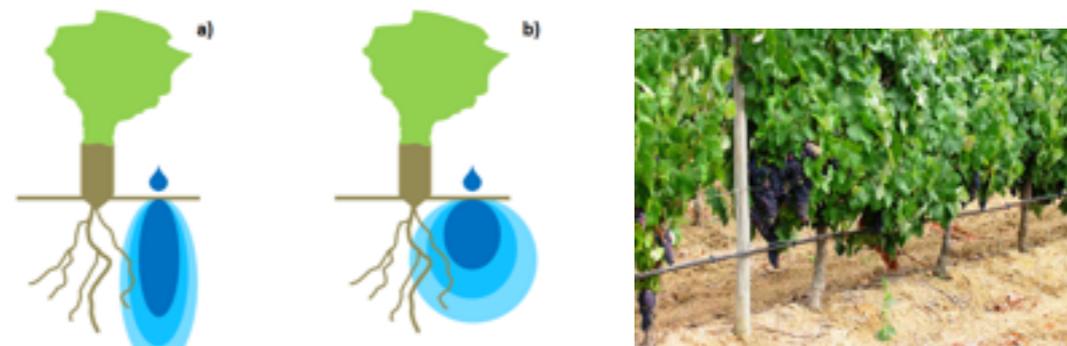


Figura 17 – Desenvolvimento de perfis de humedecimento (textura ligeira A e de textura fina B), e sua relação com a beneficiação pelo sistema radicular das plantas, e aspecto da rega gota-a-gota na cultura da vinha.

### 3.2. Indicadores de desempenho dos sistemas de rega

Definem-se a seguir alguns conceitos relacionados com o desempenho dos sistemas de rega.

- **Dotação de Rega (mm)** - Usualmente expressa em altura pluviométrica (mm), representa a lâmina de água aplicada para suprir as necessidades hídricas das plantas.
- **Eficiência de Aplicação (%)** - Expressa-se normalmente em percentagem e indica que fração da água aplicada é que foi efetivamente útil às plantas; dado que ocorrem várias perdas de água (perdas por evaporação, perdas por infiltração profunda, para além do alcance das raízes, e perdas por escoamento para fora dos limites da parcela de rega) o valor deste indicador será mais ou menos elevado dependendo do manejo/gestão da rega, mas sempre inferior a 100%.
- **Uniformidade de Distribuição (%)** - De acordo com uma das metodologias mais usadas para o cálculo deste indicador, o mesmo informa-nos que fracção da água aplicada é que recebeu o quarto de parcela mais desfavorecida (quartil inferior), relativamente à dotação média aplicada a toda a parcela. Um valor de 100% deste indicador significa que toda a parcela de rega recebe a mesma quantidade de água, situação que na realidade dificilmente é alcançada. Para um bom desempenho dos sistemas de rega, não é suficiente o alcance de uma boa eficiência de aplicação, é importante que a água aplicada à parcela seja distribuída o mais uniformemente possível na mesma.

### 3.3. Perdas de água nos sistemas de distribuição

Num aproveitamento hidroagrícola a água é distribuída em estruturas hidráulicas (canais e condutas) numa rede hierarquizada, com vários equipamentos de regulação e controlo, que garante o serviço de transporte da água desde a sua captação até aos regantes. É condição fundamental que o serviço de distribuição da água garanta uma resposta eficaz na satisfação da demanda de água pelos regantes, o que, entre outros aspetos, deve garantir uma pressão conveniente para funcionamento dos sistemas de rega, o volume de água suficiente e uma resposta na disponibilidade de água em tempo oportuno. Igualmente importante é que a operação deste serviço se faça com minimização das

perdas de água, ocasionadas por causas várias, entre as quais se inclui o mau estado de conservação e funcionamento dos canais e equipamentos de controlo e regulação. A construção de alguns dos aproveitamentos hidroagrícolas do nosso país data da década de 50 e 60 do século passado, com a inevitável degradação de algumas das estruturas referidas, pelo que tem sido disponibilizado financiamento para conservação, reabilitação e modernização dos regadios existentes. Num documento publicado pelo Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (MADRP, 2003), são referidas múltiplas situações do estado de degradação avançada de canais de distribuição com problemas graves de estanquicidade, nos quais as perdas de água chegam a atingir 80%. As perdas de água por infiltração num canal podem ser significativas, podendo por em causa a estabilidade do assentamento da estrutura do canal por erosão interna do solo. Uma das principais medidas a ser tomada será a adoção da prática de impermeabilização nos canais que apresentem problemas graves de estanquicidade (Figura 18) (Morgado, 2008).



**Figura 18 - Canal de betão antes e depois da aplicação de membrana betuminosa com aditivo anti-raízes, e troço de canal a ser revestido com membrana de polietileno (PE) (Morgado, 2008).**

Outra das situações que pode originar perdas de água nos canais de distribuição da água está relacionada com os equipamentos de controlo, como por exemplo comportas, comandada por diferentes níveis do escoamento a montante e jusante (Figura 19), que quando em condições de mau funcionamento pode originar transbordo de água para fora do canal. A figura seguinte mostra um destes equipamentos em estado de bom funcionamento.



**Figura 19 – Canal de rega controlado por comporta comandada por diferentes níveis do escoamento a montante e jusante.**

### 3.4. Medição de caudais de rega

Uma boa gestão dos sistemas de distribuição da água nos aproveitamentos hidroagrícolas passa inevitavelmente por um efetivo conhecimento do seu funcionamento, nomeadamente no que respeita aos caudais e volumes de água transportados na respetiva rede, que em cada nível de hierarquia devem corresponder à demanda de água a jusante. Ao nível das parcelas de rega será também conveniente que os regantes tenham informação dos volumes de água consumidos, os quais devem estar em conformidade com as necessidades de água reais. Em situações fora da normalidade de funcionamento, a medição de caudais permitirá a deteção e correção das mesmas e, desta forma, diminuir as perdas de água e o conseqüente aumento de eficiência na rede de distribuição. O que em tempos passados era em parte assegurado por funcionários das associações de regantes, atualmente, na larga maioria das situações, é assegurado por equipamentos com funcionamento automático, complementado por controlo remoto baseado numa monitorização constante do funcionamento de todo o sistema.

A medição dos caudais de rega pode ser efetivada por meios mais ou menos sofisticados, preferencialmente com a possibilidade de registo contínuo de dados. As diferentes formas de medição, algumas das quais se referem e explicam a seguir, estão de acordo com o tipo de estrutura hidráulica em que se processa o escoamento. Assim, se o escoamento se verificar em canais, e portanto com superfície livre, a forma mais usual é em estruturas hidráulicas denominadas descarregadores. Na Figura 20 está exemplificada um descarregador denominado de lâmina delgada, com as medidas necessárias ao cálculo do caudal escoado nesta estrutura, através da seguinte expressão conhecida como fórmula de Francis (USBR, 1975);

$$Q = 1,838 \times Ha^{3/2} \times (b - 0,2 \times Ha)$$

válida para os seguintes limites:

$$(B-b)/2 \geq 2 \times Ha$$

$$(B-b)/2 \geq 0,3$$

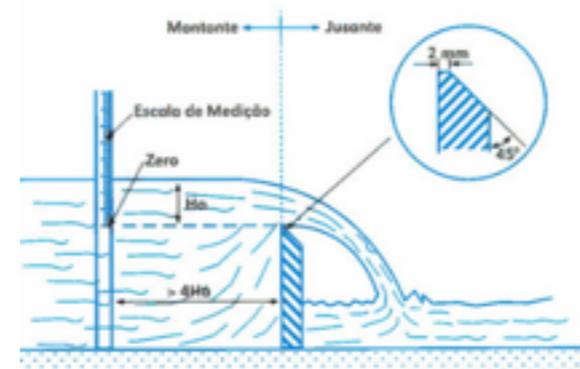
nas quais:

$Q$  – caudal escoado ( $m^3/s$ );

$Ha$  – altura do escoamento acima do vértice do descarregador (m) (neste tipo de descarregadores o vértice ou crista deve ser inferior a 2 mm, de tal maneira que o escoamento seja livre, ou seja, a pressão sobre a veia líquida seja a pressão atmosférica);

$B$  – largura à superfície do escoamento no canal de aproximação (m);

$b$  – largura da crista do descarregador (m).



**Figura 20 – Descarregador de lâmina delgada (Bos et al, 1991; COTR, s/d)**

No descarregador anterior a medida  $H_a$  também poderia ser avaliada com a utilização de um sensor de ultra-sons, como o ilustrado na Figura 21, dirigido para a superfície do escoamento. O descarregador presente na figura seguinte é de secção composta, trapezoidal e triangular para medição de caudais mais elevados e menores respetivamente.



**Figura 21 – Sensor de ultra-sons dirigido para a superfície do escoamento numa estrutura hidráulica (descarregador) para medição de caudais.**

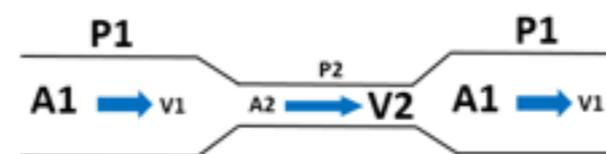
Para os escoamentos em pressão, verificados em condutas ou tubos, a medição de caudais faz-se com recurso a formas diferentes das usadas nos canais, exemplificando-se a seguir algumas das mais usuais. O medidor de Venturi, que se inclui nas formas de medição em tubagens, também é usado em canais nos quais é construída uma secção contraída também designada por garganta, a qual funciona como secção de controlo. Em tubos, o funcionamento deste tipo de medidor baseia-se na equação da continuidade (Figura 22), válida para escoamentos em regime permanente e para líquidos incompressíveis, e no Teorema de Bernoulli, que traduz o princípio da conservação da energia.

$$Q = V1 \times A1 = V2 \times A2 \text{ (Equação da Continuidade)}$$

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \text{Const. (Teorema de Bernoulli)}$$

em que:

- $Q$  – caudal escoado num tubo;
- $V1$  – velocidade do escoamento no tubo de área  $A1$ ;
- $A1$  – área maior da secção transversal do escoamento;
- $V2$  – velocidade do escoamento no tubo de área  $A2$ ;
- $A2$  – área menor da secção transversal do escoamento;
- $Z$  – cota geométrica relativamente a um plano de referência;
- $p$  – pressão do escoamento;
- $\gamma$  – peso específico da água;
- $V$  – velocidade do escoamento;
- $g$  – aceleração da gravidade.



**Figura 22 – Esquema que ilustra a equação da continuidade e o Teorema de Bernoulli num medidor de Venturi.**

Considerando o que foi referido anteriormente, o caudal de um medidor Venturi é calculado pela seguinte fórmula:

$$Q = \frac{C \times Db^2 \times K \times (Ha - Hb)^{0.5}}{\left(1 - \left(\frac{Db}{Da}\right)^2\right)^{0.5}}$$

onde:

- $Q$  – caudal escoado na tubagem (l/min);
- $C$  – coeficiente de vazão (para um Número de Reynolds superior a 2000, toma o valor de 0.98);
- $Da$  – diâmetro da secção a montante (cm);
- $Db$  – diâmetro da secção contraída (cm);
- $Ha$  – pressão na secção de montante (kPa);
- $Hb$  – pressão na secção contraída (kPa);
- $K$  – coeficiente igual a 6.66 para as unidades físicas usadas.

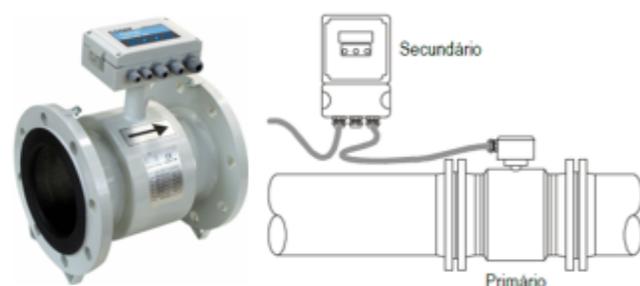
Ao nível das parcelas de rega, por exemplo da rede terciária ou nas laterais, os caudais podem ser medidos com um contador volumétrico. O funcionamento dos contadores volumétricos (Figura 23) baseia-se na passagem contínua do escoamento numa câmara de medição, tendo no interior um êmbolo circular oscilante, ou rotativo, cujo movimento é transmitido a um dispositivo que, faz a contagem de um determinado volume de água. O movimento do pistão é transferido por acoplamentos magnéticos para um registador com engrenagens adequadas à correta medição dos caudais.



**Figura 23 – Medidor volumétrico de caudais instalado numa lateral de um sistema de rega gota-a-gota.**

Os medidores de caudal referidos a seguir são de funcionamento muito preciso, e por isso também mais caros que outros tipos de medidores. A categoria de medidores da Figura 24 funcionam por aplicação da lei de indução eletromagnética estabelecida pelo físico Faraday. Estes caudalímetros são constituídos basicamente pelos seguintes componentes (Henriques *et al*, 2006):

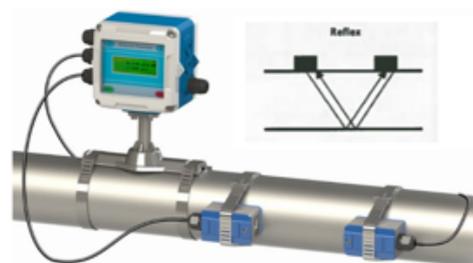
- um elemento primário (ou transdutor de caudal) que cria um campo magnético através do qual se processa o escoamento, associado a um líquido condutor de corrente eléctrica como a água, e que possui eléctrodos em contacto com o líquido entre os quais se estabelece uma diferença de potencial eléctrico que será proporcional à velocidade média do escoamento e, portanto, ao caudal;
- um elemento secundário (ou condicionador de sinal) constituído por componentes eletrónicos, que controla a excitação do elemento primário e importa o sinal de tensão induzido nos eléctrodos fazendo a amplificação e processamento por forma a convertê-lo num sinal de saída normalizado proporcional ao caudal.



**Figura 24 – Medidor de caudais electromagnético com os elementos primário (ou transdutor de caudal) e secundário (ou condicionador de sinal) (Globalagua, 2018).**

Os medidores de caudal ultrassónicos emitem ondas ultrassónicas que se propagam através da água, sendo recebidas depois de comportarem o efeito do escoamento e usando essa influência para avaliar o caudal escoado. São normalmente constituídos pelos seguintes componentes (Henriques *et al*, 2006; COTR, s/d):

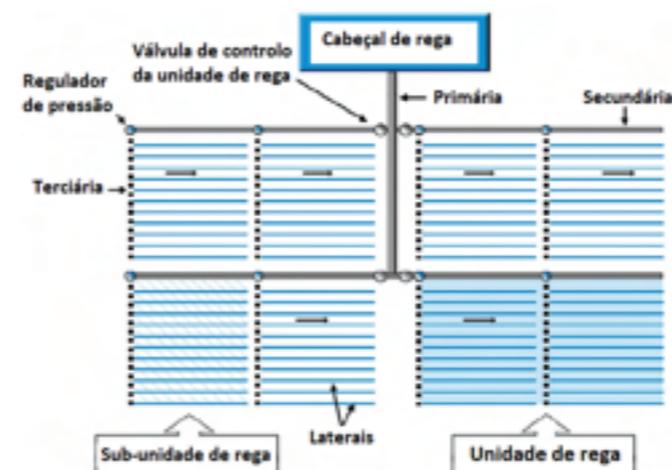
- um par de transdutores ultrassónicos através dos quais são emitidos e recebidos sinais ultrassónicos, podendo funcionar cada um alternadamente como emissor e recetor, ou seja a transmissão e a receção de sinais é medida em ambas as direções. Quando não se processa escoamento, o tempo de trânsito do envio do sinal até à sua receção a jusante é igual ao de montante. Havendo escoamento, o primeiro tempo é inferior ao segundo; a diferença entre os dois tempos, a montante e a jusante, é proporcional à velocidade do escoamento, e portanto ao caudal, e o seu sinal indica o sentido em que o mesmo se processa (Figura 25).
- um controlador de sinal que excita o transdutor emissor e realiza o processamento digital dos sinais ultrassónicos intervinientes, convertendo-os em sinais de saída normalizados proporcionais à velocidade, considerando os parâmetros pré-programados da tubagem como sejam, o diâmetro, tipo de material da tubagem e espessura das paredes (Figura 25).



**Figura 25 – Medidor de caudais ultrassónico fixo com os transdutores ultrassónicos e o condicionador de sinal (Globalagua, 2018).**

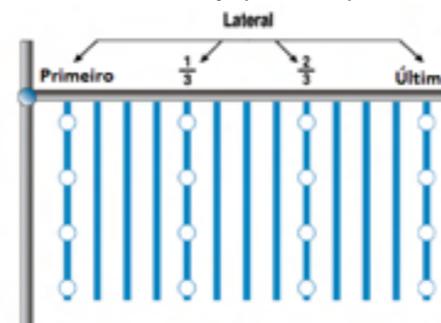
### 3.5. Avaliação de sistemas de rega localizada

A forma como se projeta e se implanta no terreno uma instalação de rega localizada, é determinada por fatores como, geometria da área a beneficiar, topografia do terreno, localização da captação de água, extensão da área a beneficiar, entre outros. Na Figura 26 está representada uma forma de implantação do sistema de rega numa área regular, beneficiando uma área relativamente elevada. O cabeçal do sistema de rega, que como o nome indica localiza-se à cabeça do sistema, inclui no conjunto dos seus equipamentos o sistema de filtragem da água, o sistema de bombagem se a água não for distribuída com pressão, o fertilizador, e o programador de rega. Ao longo da instalação existem vários aparelhos/ equipamentos que garantem o bom funcionamento da instalação, tais como válvulas direcionais (normalmente electroválvulas), reguladores de pressão, ventosas, manómetros, e outros.



**Figura 26 – Representação esquemática das unidades e subunidades de um sistema de rega localizada (Adaptado de Junta de Andalucía, 2010).**

A avaliação de uma instalação de rega gota-a-gota tem por objetivo testar o seu correto funcionamento, de modo que a dotação de rega seja a que se pretende em todos os pontos da parcela de rega. Deve-se também comprovar que todos os materiais e equipamentos estão em bom estado de conservação e de funcionamento e, caso se detete alguma anomalia no funcionamento da instalação, deve-se adotar a solução mais apropriada e económica. No que respeita à avaliação do desempenho do sistema no setor de rega (subunidade de rega), a mesma deve ter lugar pelo menos duas vezes por ano, uma no início e outra a meio da campanha de rega (Junta de Andalucía, 2010). Os indicadores de desempenho do sistema que se determinam são o coeficiente de uniformidade dos caudais e das pressões, de acordo o procedimento que seguir se descreve acompanhado de exemplos de cálculo. Para o cálculo do coeficiente de uniformidade dos caudais, devem seleccionar-se 16 gotejadores que sejam representativos do setor de rega (subunidade), ou seja 4 que se localizem na primeira lateral, 4 a 1/3 do comprimento da terciária, 4 a 2/3 do comprimento da terciária, e 4 na última lateral (Figura 27). Em cada lateral a regra para seleccionar os gotejadores é a mesma que para a seleção das laterais na terciária. Os caudais nos gotejadores seleccionados são medidos com o auxílio de copos e um cronómetro, ou seja por medição volumétrica (Figura 28).



**Figura 27 – Laterais e gotejadores que devem ser seleccionados para avaliação de uma subunidade de um sistema de rega gota-a-gota (Adaptado de Junta de Andalucía, 2010).**



**Figura 28 – Aspecto da recolha de água num copo, para avaliação do caudal de um gotejador (COTR, s/d).**

No quadro que se segue exemplifica-se a avaliação relativa aos caudais, no qual estão destacados a vermelho os quatro gotejadores com menor caudal, de um total de dezasseis gotejadores seleccionados, ou seja, os 25% de gotejadores com menor caudal (quartil inferior) (Merriam e Keller, 1978).

**Quadro 4 - Caudais recolhidos nos gotejadores seleccionados (l/h)**

Localização da lateral no sector	Localização dos gotejadores na lateral			
	1º Gotejador	Gotejador 1/3	Gotejador 2/3	Último Gotejador
1ª Lateral	4.0	4.2	3.9	4.2
Lateral 1/3	4.1	3.8	4.0	3.9
Lateral 2/3	3.8	3.7	3.8	4.0
Última Lateral	4.0	4.1	3.9	3.8

Para o cálculo do coeficiente de uniformidade dos caudais (CUC), procede-se da forma que a seguir se explica com base nos valores do Quadro 4.

- Caudal médio dos quatro gotejadores de menor caudal ( $Q_{25\%}$ ):  $(3.8+3.8+3.8+3.7)/4=3.80$  l/h
- Caudal médio de todos os gotejadores seleccionados ( $Q_{med}$ ):  $63.2/16=3.95$  l/h
- Coeficiente de Uniformidade dos Caudais (CUC):  $(Q_{25\%}/Q_{med}) \times 100 = (3.80/3.95) \times 100 = 96.2\%$

Para o cálculo do coeficiente de uniformidade das pressões, os gotejadores seleccionados são os mesmos que para o cálculo do coeficiente de uniformidade dos caudais. As pressões nos gotejadores seleccionados são medidas com o auxílio de um manómetro colocado num tubo de inserção dos gotejadores, ou directamente no tubo da lateral (Figura 29).



**Figura 29 – Aspeto da medida da pressão do escoamento com um manómetro, num tubo de inserção de um gotejador (Junta de Andalucía, 2010), e directamente num lateral de rega (COTR, 2009).**

No Quadro 5 estão destacados a vermelho os quatro gotejadores com menor pressão, de um total de dezasseis gotejadores seleccionados, ou seja, os 25% de gotejadores com menor pressão (quartil inferior).

**Quadro 5 - Pressões verificadas nos gotejadores seleccionados.**

Localização da lateral no sector	Localização dos gotejadores na lateral			
	1º Gotejador	Gotejador 1/3	Gotejador 2/3	Último Gotejador
1ª Lateral	1.5	1.4	1.4	1.5
Lateral 1/3	1.3	1.2	1.5	1.6
Lateral 2/3	1.2	1.1	1.4	1.7
Última Lateral	1.4	1.3	1.2	1.6

Para o cálculo do coeficiente de uniformidade das pressões (CUP), procede-se da forma que a seguir se explica com base nos valores do Quadro 5.

- Pressão média dos quatro gotejadores de menor pressão ( $P_{25\%}$ ):  $(1.2+1.2+1.2+1.1)/4=1.18$  kgf/cm<sup>2</sup>
- Pressão média de todos os gotejadores seleccionados ( $P_{med}$ ):  $22.3/16=1.39$  kgf/cm<sup>2</sup>

Na fórmula para cálculo do coeficiente de uniformidade das pressões o expoente “a” refere-se a um parâmetro de descarga, constituindo uma característica dos gotejadores que é fornecido pelo fabricante dos mesmos. Neste exemplo aquele parâmetro toma o valor de 0.65, adequado para os gotejadores em que as variações de pressão afetam relativamente pouco nas variações de caudal.

- Coeficiente de Uniformidade das Pressões (CUP):  $(P_{25\%}/P_{med})^a \times 100 = (1.18/1.39)^{0.65} \times 100 = 89.2\%$

Os valores dos indicadores de desempenho do sistema de rega (CUC e CUP) neste exemplo de avaliação são muitos bons, tratando-se mesmo de excelente no caso do coeficiente de uniformidade de caudais.

**3.6. Serviços de aconselhamento ao regante**

Os objetivos de minimização de impactes durante a fase de utilização dos aproveitamentos hidroagrícolas, podem alcançar-se seguindo normas de boa prática da rega normalmente desconhecidas dos regantes: utilização racional da água de rega, controlo das quantidades aplicadas de fertilizantes e outros agroquímicos, mobilização do solo tendente a evitar a erosão. Para conseguir estes objetivos é cada vez mais necessário que os regantes possam contar com um serviço de aconselhamento técnico em relação a estes aspetos. Referem-se a seguir, de maneira breve, os aspetos em que os serviços de assessoria aos regantes podem atuar como elemento de apoio, no momento de cumprir as indicações especificadas nos planos de vigilância ambiental nas zonas de regadio (Sanz, 1998).

**Contaminação de águas**

O maior risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas nos aproveitamentos hidroagrícolas tem a ver com os adubos azotados e, em menor medida, com o uso de outros agroquímicos. A intervenção dos serviços de aconselhamento aos regantes neste caso passa por orientar sobre os fatores controláveis deste processo: emprego correto de fertilizantes e fomento da fertirrigação como técnica de aplicação a adotar. Este aspeto reforça a necessidade de se aplicar a água e fertilizantes com elevadas eficiências e uniformidades de distribuição, de modo que se consiga

cumprir o compromisso entre uma produção agrícola economicamente aceitável e a preservação da sustentabilidade ambiental. É no seguimento deste tipo de preocupações que têm sido publicados em muitos países códigos de boas práticas agrícolas, em algumas situações com enquadramento legal, não sendo o nosso país exceção em relação a esta questão (Duarte, 2006).

### Uso racional da água

A programação de rega apresenta-se como um dos instrumentos mais efetivos para o uso conservacionista da água, sendo fundamental que os regantes disponham de calendários de rega adequados (Ferrerres, 1996). Com dados proporcionados por estações agroclimáticas convenientemente localizadas, é possível facilitar recomendações de rega por diferentes períodos, em tempo útil e oportuno. Neste âmbito, refira-se o Sistema Agrometeorológico para Gestão da Rega no Alentejo (SAGRA), gerido pelo Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio (COTR), de modo a permitir a recolha e armazenamento da informação meteorológica numa base de dados, e a determinação da evapotranspiração da cultura de referência e das principais culturas usadas na região. O interesse prático desta iniciativa e de outras já em uso, ou que venham a ser desenvolvidas com o mesmo objetivo, é a disponibilização da informação, preferencialmente em tempo real, para os agricultores e outros usuários através de vários canais de informação (jornais regionais, rádios locais, sites específicos na *internet*, folhas informativas).

### Uso do solo

Logo que os projetos de regadio passam à fase de exploração, é necessário implementar um conjunto de medidas complementares para evitar uma possível degradação do solo: seguimento da salinidade em algumas áreas beneficiadas mais suscetíveis a este processo, seguimento dos problemas de drenagem e recomendações de gestão, aconselhamento sobre o uso mais adequado do solo em ordem a limitar as perdas por erosão. No âmbito desta linha de atuação é importante perceber e saber interpretar as relações entre rega, drenagem e conservação do solo e a sua influência na qualidade do solo e por extensão da água, dado que são sistemas confinantes (Serralheiro, 2000).

### Uso das instalações de rega

Ao nível das parcelas de rega, onde os agricultores têm intervenção, devem recomendar-se normas de uso dos equipamentos nas parcelas e dos automatismos, com os objetivos de racionalizar o uso da rede de rega, analisar o consumo energético e promover as formas da sua diminuição. Normalmente são apontados inconvenientes às instalações/equipamentos de rega, como sejam, despesas de funcionamento elevadas, distribuição irregular da água, formação de crosta superficial no solo. Raposo (1996) faz notar que todos estes inconvenientes podem ser atenuados, ou mesmo anulados, desde que as respetivas instalações/equipamentos sejam devidamente estudadas e adotadas as soluções mais convenientes para as circunstâncias em causa.

### Formação dos regantes

O agricultor com formação nos aspetos relacionados com a rega é a melhor garantia para levar a cabo um bom aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis. A realização de ações de formação deve ser integrada num espírito forte de aprendizagem, junto de quem sabe transmitir os conhecimentos de forma adequada aos destinatários, com a concretização de ações que visem a experimentação, exemplificação e demonstração de técnicas de gestão, conservação e abastecimento de água (DGDR e IHERA, 2001).

Registe-se a título de exemplo o trabalho de inspeção e auditoria levados a cabo pelo Centro Operativo e de Tecnologia do Regadio (COTR), em 215 sistemas de rega localizada. Após duas campanhas de rega de uma primeira auditoria realizada em 2015, voltou-se a realizar a inspeção técnica aos mesmos sistemas, o que permitiu controlar não só o estado atual de funcionamento dos equipamentos, mas também a evolução do seu desempenho. Relativamente ao coeficiente

de uniformidade (CU) registou-se um aumento significativo, de 67,6 % em 2015 para 73,1 % em 2017, com a eliminação dos sistemas com uma classificação de mau CU (Boteta *et al*, 2018).

## 3.7. Incentivos ao uso eficiente da água na vinha

Um dos incentivos sempre presente no uso eficiente da água no regadio é o tarifário praticado pelas entidades gestoras dos aproveitamentos hidroagrícolas pela utilização da água, ou os custos inerentes à construção, manutenção e exploração (sobretudo custos com energia elétrica) em captações próprias. Sendo a água distribuída com a pressão suficiente para funcionamento dos sistemas de rega, os gastos de energia elétrica nas estações de bombagem são normalmente significativos, e são refletidos no custo da água suportado pelos regantes. Em alguns aproveitamentos hidroagrícolas, para além da participação do regante nos custos de conservação da obra (refletidos na taxa de conservação paga por todos os beneficiários do regadio) e nos custos de exploração da mesma (refletidos na taxa de exploração paga pelos beneficiários que utilizem efetivamente a água), os regantes são onerados adicionalmente com a Taxa de Recursos Hídricos (TRH). Esta taxa dá cumprimento ao princípio do utilizador-pagador, como uma das linhas orientadoras da Diretiva Quadro da Água (Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000), transposta para o normativo nacional pela nova Lei da Água (Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro). Assim, de acordo com estudo realizado por Duarte (2017) para uma cultura arvensis em vários aproveitamentos hidroagrícolas, o custo da água de rega por hectare é bastante variável podendo situar-se entre o valor 556.8 € praticado pela Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva (EDIA), válido para o ano 8 da entrada em funcionamento do bloco de rega, e para a exploração média entre os períodos de ponta, cheia, e vazio e supervazio, e o valor 77.4 € praticado Associação dos Beneficiários da Cova da Beira (ABCB). Para um cabal entendimento desta disparidade de custos da água de rega, é conveniente o seu enquadramento nas diferentes condições de fornecimento da água e da realidade edafológica-climática, de tal modo que pode ser mais competitivo para os agricultores suportar os custos da água do regadio de Alqueva, do que do regadio da Cova da Beira onde se cobra o valor mais baixo e com água distribuída com pressão.

A atribuição de apoios financeiros aos agricultores para uso eficiente da água no setor agrícola e para conservação do solo, configuram-se como instrumentos que se têm mostrado eficazes no uso racional e sustentável daqueles recursos, em países onde têm sido aplicados. Para a prevenção da erosão hídrica dos solos e promoção do sequestro de carbono no âmbito da atividade agrícola, através do enrelvamento das entrelinhas das culturas permanentes, a Portaria nº50/2015 de 25 de Fevereiro (Ministério da Agricultura e do Mar) estabelece o normativo para aplicação dos respetivos apoios financeiros. No ANEXO III da mesma Portaria são estabelecidas as densidades de plantação mínimas para várias culturas suscetíveis de beneficiarem do apoio financeiro (Quadro 6) e os montantes e limites de apoio para vários escalões de área (Quadro 7).

### Quadro 6 - Densidades de plantação.

Culturas	Densidade mínima/ha
Pomóideas, citrinos, e prunóideas, excepto cerejeiras ..	200 árvores
Pequenos frutos, excepto sabugueiro .....	1000 plantas
Actinóideas .....	400 plantas
Outros frutos frescos, sabugueiro e cerejeira .....	80 árvores
Frutos secos e olival .....	60 árvores
Vinha .....	2000 cepas, excepto nos casos de áreas ocupadas com vinha conduzida em pérgula ou de áreas situadas na Região Demarcada dos Vinhos Verdes, em que a densidade mínima é de 1000 cepas.

### Quadro 7 - Montantes e limites de apoio.

Escalões (ha)	Montante de apoio (€/ha)
<=10 .....	105
>10 a <=25 .....	89
>25 a <=50 .....	79
> 50 .....	26

No que respeita ao uso eficiente da água no setor agrícola, as Portaria nº 50/2015 de 25 de Fevereiro e nº 136/2015 de 19 de Maio (Ministério da Agricultura e do Mar), estabelecem o normativo para aplicação dos respetivos apoios financeiros, cujas candidaturas estiveram abertas apenas em 2015, prevendo-se que no próximo quadro comunitário de apoio os regantes possam beneficiar dos mesmos apoios. A segunda portaria referida “cria o sistema de reconhecimento de regantes, estabelecendo as condições e procedimentos da autenticação de entidades reconhecedoras de regantes, bem como da atribuição do título de regante”. Os agricultores podem submeter-se ao título de regante da categoria A ou categoria B, sendo a primeira categoria mais exigente em termos de obrigações a cumprir (Quadro 8). Os montantes de apoio para cada categoria de regante estão registados no Quadro 9, de acordo com escalões relativos à área de regadio (Quadro 10).

### Quadro 8 - Obrigações dos regantes reconhecidos das categorias B e A.

Obrigações dos regantes reconhecidos	
Regantes da categoria B	
<b>Artigo 12º</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detenham e explorem uma superfície mínima instalada de regadio de um hectare, utilizando sistemas de rega por aspersão, localizada ou subterrânea;</li> <li>• Detenham ou tenham acesso a contador exclusivo que permita aferir o consumo efectivo de água na superfície irrigada.</li> </ul>	
<b>Artigo 16º</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Submeter -se a inspeção técnica do equipamento de rega e de bombeamento feita pela entidade reconhecidora, assim como implementar as recomendações resultantes dessa inspeção;</li> <li>• Conduzir as regas com base em calendário de rega, de periodicidade mínima semanal, tendo em consideração os dados de evapotranspiração da cultura a regar, da precipitação a medir com pluviómetro, do tipo de solo e da eficiência de aplicação prevista;</li> <li>• Monitorizar a quantidade de água utilizada;</li> <li>• Elaborar plano de fertilização;</li> <li>• Manter atualizado um registo das atividades relacionadas com a rega e com o plano de fertilização estabelecido, em conformidade com o modelo aprovado por despacho do diretor -geral de agricultura e desenvolvimento rural e publicitado no seu sítio da <i>Internet</i>;</li> <li>• Conservar os comprovativos da aquisição de fertilizantes, bem como os boletins de análise de terra, de água e de material vegetal, anexando -os ao registo das atividades.</li> </ul>	
Regantes da categoria A	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de equipamentos para determinação de teor de humidade no solo, tendo em vista introduzir os ajustes necessários ao calendário de rega.</li> </ul>	

### Quadro 9 - Uso eficiente da água – Montantes e limites de apoio.

GRUPOS DE CULTURAS	MONTANTE DE APOIO (€/HA) SEGUNDO A CLASE DE REGANTE							
	Clase de regante B				Clase de regante A			
	1ºesc	2ºesc	3ºesc	4ºesc	1ºesc	2ºesc	3ºesc	4ºesc
Culturas temporárias de regadio (1)	130	104	65	26	185	148	92.5	37
Horticultura e Frutos Frescos (2)	150	120	75	30	220	176	110	44
Vinha para vinho, Olival e Frutos Secos	130	104	65	26	185	148	92.5	37

(1) Com excepção das culturas que se inserem na classificação “Horticultura”.

(2) Inclui horto-industriais.

### Quadro 10 - Escalões relativos à área de regadio.

GRUPOS DE CULTURAS	ESCALÕES (HA)			
	1ºesc	2ºesc	3ºesc	4ºesc
Culturas temporárias de regadio (1)	<=40	>40 a <=80	>80 a <=150	>150
Horticultura e Frutos Frescos (2)	<=5	>5 a <=10	>10 a <=25	>25
Vinha para vinho, Olival e Frutos Secos	<=10	>10 a <=20	>20 a <=50	>50

(1) Com excepção das culturas que se inserem na classificação “Horticultura”.

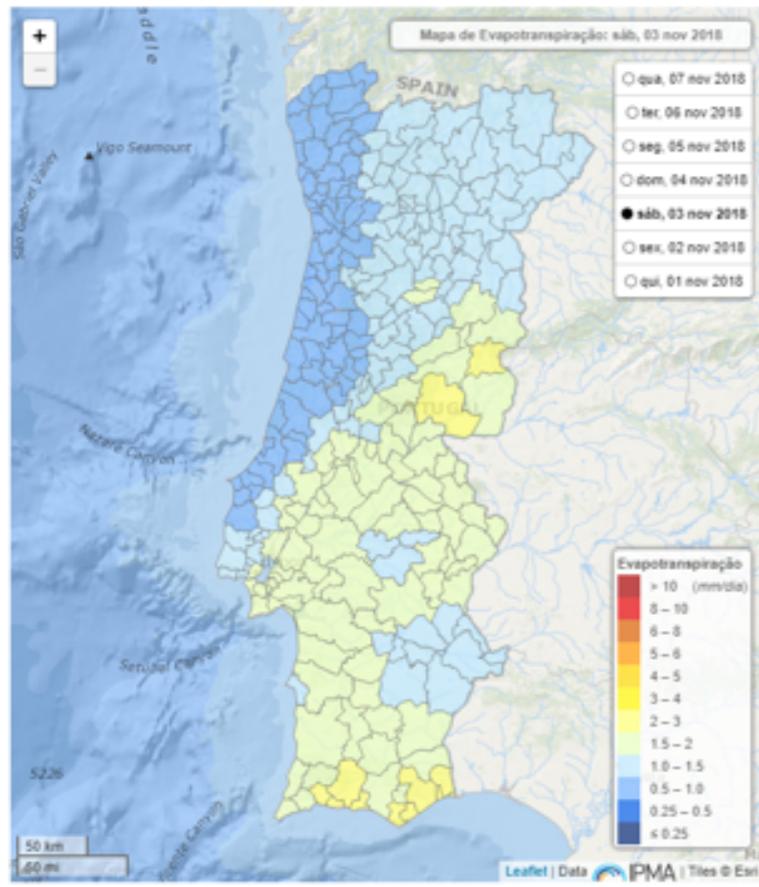
(2) Inclui horto-industriais.

Formas de gestão  
da rega na vinha

4

#### 4.1. Gestão da rega com recurso a dados meteorológicos

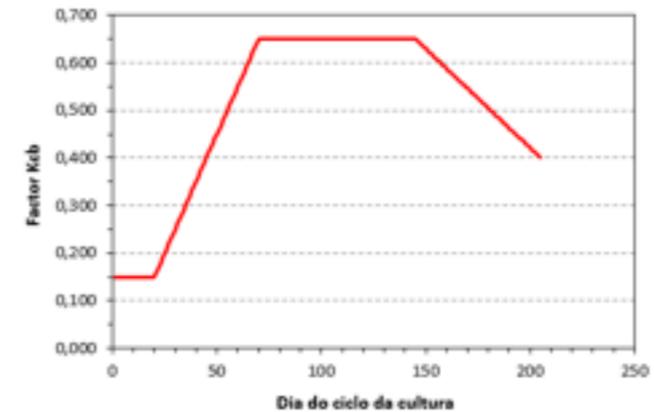
Esta forma de gestão implica a disponibilidade periódica de dados meteorológicos, preferencialmente diários ou mesmo períodos do dia, para cálculo atualizado da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Ao nível de uma exploração agrícola, os dados podem ser tomados diretamente e de forma automática, de uma estação ou estações meteorológicas para cálculo da evapotranspiração; as modernas estações meteorológicas já contemplam o cálculo daquele parâmetro climático, normalmente através da fórmula de Penman-Monteith (Monteith e Unsworth, 1990). Ao nível de um aproveitamento hidroagrícola de área relativamente elevada, o cálculo da evapotranspiração terá que estar baseado numa rede de estações, dada a variabilidade espacial dos parâmetros meteorológicos. A disponibilização da informação da evapotranspiração (de referência, cultural ou cultural ajustada) para os agricultores em tempo oportuno poderá ser feita por vários canais, como sejam as redes sociais, páginas web, ou mensagens de telemóvel, sendo este serviço normalmente assegurado por associações de regantes ou outros *stakeholders*. Refira-se a título de exemplo o Sistema Agrometeorológico para Gestão da Rega no Alentejo (SAGRA), que conta atualmente com uma rede de 15 estações automáticas, cujo serviço é prestado pelo Centro Operativo e de Tecnologia do Regadio (COTR). Este centro operativo dispõe ainda de outro serviço, MOGRA (Modelo de Gestão da Rega para o Alentejo), que disponibiliza em tempo real o calendário de rega ótimo ou atual (caso se trate da evapotranspiração cultural ajustada), calculado pela metodologia proposta pela FAO. A informação da evapotranspiração de referência pode também ser tomada na página web do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), sendo os valores atualizados diariamente e disponibilizados num mapa interativo por concelho, com valores arredondados a uma casa decimal (Figura 29).



**Figura 30 – Valores médios diários de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) por concelho (IPMA, 2018).**

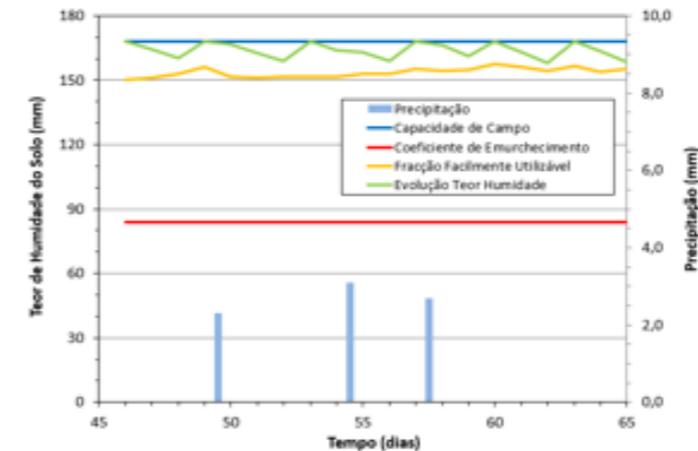
A ET<sub>o</sub> é calculada com base nos resultados do modelo de previsão numérica do tempo – ALADIN (operacional no IPMA, I.P.) e nos produtos de radiação da LANDSAT. É atualizado diariamente às 10:00 UTC. Apresentam-se os valores médios por concelho dos últimos 7 dias disponíveis, com base nos valores diários de ET<sub>o</sub> (das 00 – 24UTC).

Considerando o balanço hídrico simplificado do solo, em que as entradas de água são a rega e a chuva e as saídas são apenas a evapotranspiração, para calcularmos as necessidades de água das plantas num determinado período de tempo, apenas se tem que calcular a evapotranspiração e diminuir a precipitação, caso tenha ocorrido. Para o cálculo da evapotranspiração tem que se conhecer a curva do K<sub>c</sub>, se nas saídas de água se considera a transpiração e a evaporação, ou do K<sub>cb</sub>, se apenas se considera a transpiração, sendo as perdas por evaporação quase nulas, o que acontece normalmente nos sistemas de rega gota-a-gota. Na Figura 30 apresenta-se a curva do K<sub>cb</sub> para a cultura da vinha, para produção de vinho, em condições de clima mediterrânico (FAO, 1998). Os valores que constam no gráfico são valores tabelados para condições médias, sendo preferível o uso de valores já validados localmente por múltiplas observações e cálculos, respeitantes ao início e duração de cada fase do ciclo cultural da vinha preconizados nesta metodologia e aos valores do coeficiente K<sub>cb</sub> para cada uma das fases. Uma melhor adequação do coeficiente K<sub>cb</sub> para determinadas condições climáticas, pode ser efetivada através do acompanhamento do teor de humidade do solo com sensores, dado que num determinado período de tempo aquele coeficiente será igual à ET<sub>c</sub> verificada (correspondente à diminuição do teor de humidade do solo) dividida pela ET<sub>o</sub> (calculada com base em dados climáticos da zona).



**Figura 31 – Curva do coeficiente K<sub>cb</sub> válida para a cultura da vinha em condições mediterrânicas (FAO, 1998).**

Atendendo aos conceitos da água no solo exemplificados na Figura 4, na figura seguinte apresenta-se, a título de exemplo, o balanço hídrico do solo para um período de 20 dias para a cultura da vinha, no qual figuram as regas efetuadas, de acordo com os critérios de oportunidade de regar e de reposição da água no solo. Como nenhum dos eventos de precipitação é suficiente para elevar o teor de humidade à capacidade de campo, as regas correspondem aos pontos em que se o teor de humidade sobe até ao valor daquela constante de humidade.



**Figura 32 – Exemplo de gestão da rega da vinha com base no balanço hídrico do solo.**

## 4.2. Gestão da rega com sensores de humidade

A monitorização da água do solo apresenta-se como uma ação importante no uso eficiente da água de rega, dado que dela podem resultar indicações para uma melhor gestão no uso daquele recurso. Apresentam-se a seguir de forma resumida os principais métodos e equipamentos disponíveis para o acompanhamento da evolução do teor de humidade no solo. A única forma de avaliar de forma direta a humidade do solo é através de colheita de amostras no campo e, por procedimento próprio, estabelecer relação entre o peso de solo seco e o peso de água contida na amostra. Acautelando os cuidados necessários, este método, sendo direto, constitui-se também como o mais rigoroso. No entanto, não sendo um método expedito e possível de usar no campo, usa-se quase exclusivamente como método de referência para a calibração de equipamentos relacionados com outras metodologias. Assim, os aparelhos/equipamentos usados atualmente na monitorização do teor de humidade avaliam outras características do solo que se relacionam com a presença de água, que em rigor é água com sais e outras substâncias dissolvidas; designam-se por isso de métodos indiretos.

- **Câmaras de pressão**

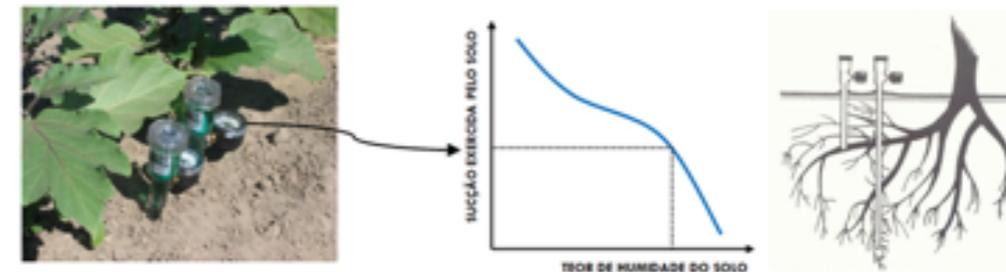
Para além dos métodos de monitorização da água no solo, da qual resultam indicações para a gestão da rega, existem métodos que avaliam o potencial hídrico nas folhas plantas de que resultam indicações com a mesma finalidade; as câmaras de pressão são um destes métodos, ilustrando-se na Figura 32 um equipamento deste tipo em utilização. Este equipamento exerce a pressão numa folha de uma planta, colocada numa câmara, suficiente para que se verifique exsudação de água no pecíolo da mesma folha, ou seja a pressão que iguala a tensão da água no xilema da folha. No caso da vinha para vinho, não é necessário regar até que o potencial hídrico nas folhas avaliado ao meio-dia exceda -1.0 MPa (- 10 bar), valor que pode variar em função das variedades e das opções de gestão da rega.



**Figura 33 – Câmara de pressão em utilização, destacando-se a observação com uma lupa da exsudação de água no pecíolo de uma folha.**

- **Tensiómetro**

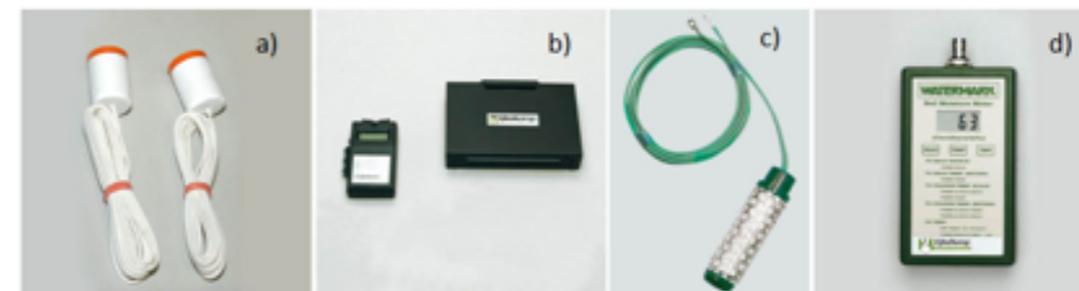
Este aparelho mede a energia de retenção da água no solo, funcionando dentro de limites estreitos de sucção (0 – 100 cbar), ou seja, normalmente dentro da fração de água facilmente utilizável. A medição destes aparelhos só pode ser relacionada com o teor de humidade, se conhecermos a curva de tensão de humidade do solo em causa (Figura 33) e se considerarmos que o potencial matricial é decisivo, em relação aos outros potenciais da água no solo (gravitacional e osmótico). A utilização de tensiómetros pode ser também interessante na avaliação da oportunidade de rega.



**Figura 34 – Tensiómetros instalados a diferentes profundidades para avaliação da sucção exercida pelo solo para a água, e sua relação com o teor de humidade, através da respetiva curva de tensão de humidade.**

- **Blocos de gesso e sensores “Watermark”**

Ambos os métodos são baseados na resistência elétrica da solução do solo (água e sais dissolvidos), que em contacto com o material poroso dos blocos de gesso (Figura 34a) e dos sensores “Watermark” (Figura 34c), ficam com o mesmo teor de humidade. A resistência elétrica é inversamente proporcional ao teor de humidade dos blocos de material poroso, que ao fim de algum tempo será o mesmo que o solo envolvente. As leituras da resistência elétrica, entre os dois elétrodos dos sensores “Watermark” (Figura 34d), são convertidas em potencial da água do solo através de uma equação de calibração, que inclui uma compensação de temperatura do solo. As mesmas leituras nos blocos de gesso (Figura 34b) são convertidas em fração de água utilizável no solo. Valores próximos de 0% significam teores de humidade perto da secura do solo, enquanto valores próximos de 100% significam valores perto da capacidade máxima de retenção de água. O limite do conforto hídrico das plantas situa-se próximo de valores de 75% (COTR, s/d). Quaisquer destes aparelhos apresentam a limitação da sua utilização em solos com teores salinos elevados, dada a natureza eletrolítica destes solos.

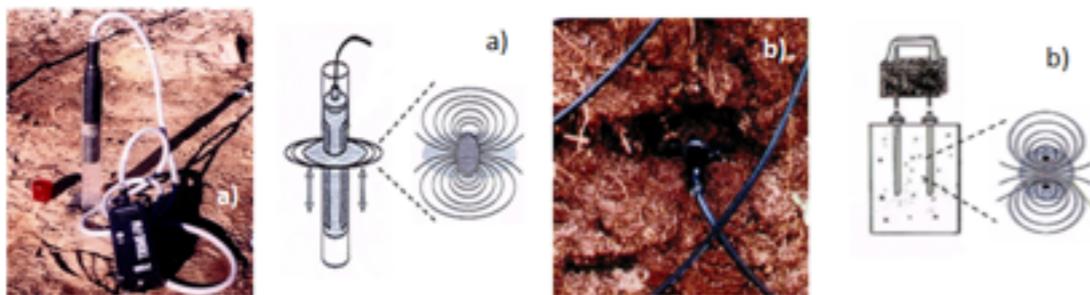


**Figura 35 – Blocos de gesso (a) e respetiva unidade de leitura (b), e sensores “Watermark (c) e respetiva unidade de leitura (d)**

- **Sondas TDR (Time Domain Reflectometry)**

Este método é baseado na constante dielétrica do solo, como sendo a capacidade de um material não condutivo para transmitir ondas ou impulsos eletromagnéticos de alta frequência. À medida que o teor de humidade do solo aumenta, a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas

diminui. Existem dois tipos principais deste tipo de sondas: um que usa um tubo de acesso no qual a sonda desliza, ao mesmo tempo que mede o teor de humidade do solo para cada profundidade (Figura 35a) e outro que é constituído por duas ou mais sondas tipo guia (garfos), que se cravam no solo a determinada profundidade medindo o teor de humidade (Figura 35b). As sondas deste tipo são normalmente concebidas para estarem permanentemente instaladas num determinado sítio, sendo a distribuição das ondas magnéticas, e conseqüentemente o volume de medição do solo, maior nas sondas de três guias do que de nas de duas guias.



**Figura 36 – Sondas TDR com tubo de acesso (a) e com guias (garfos) (b), e distribuição das ondas magnéticas no solo e respetivos volumes de medição.**

• **Sondas FDR (Frequency Domain Reflectometry)**

Tal como o método anterior, também este é baseado na constante dielétrica do meio água-solo, sendo os equipamentos de medida denominadas normalmente de sondas capacitivas, dado que utilizam a capacitância elétrica para avaliar o teor de humidade do solo (COTR, s/d). Utilizando este princípio de funcionamento e sendo necessários tubos de acesso para a sua correta operacionalização, existem sobretudo dois tipos de sondas: DIVINER (Figura 36a) e ENVIROSCAN (Figura 36b). A sonda DIVINER é portátil e está equipada com um sensor na ponta da haste que desliza no tubo de acesso, registando medidas a cada 10 cm até ao limite inferior do tubo. A sonda ENVIROSCAN é normalmente fixa e consiste em múltiplos sensores localizados a várias profundidades. Os sensores podem ser colocados a cada 10 cm ao longo das sondas, podendo ser ajustados ao tipo de solo, cultura e estado de desenvolvimento vegetativo. Os dados, resultantes das leituras dos sensores com um determinado intervalo de tempo, podem ser enviados, via GPRS ou outra, para uma qualquer localização.



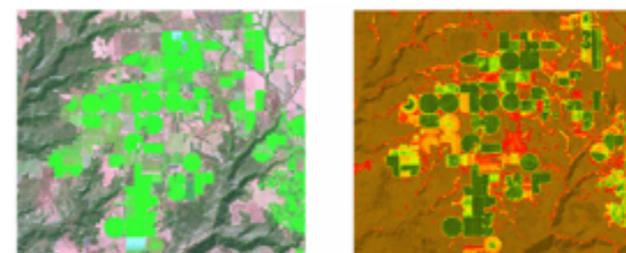
**Figura 37 – Sondas FDR com os respetivos tubos de acesso, sonda DIVINER (a) e sonda ENVIROSCAN (b).**

**4.3. Gestão da rega com tecnologias inovadoras**

A gestão racional da rega requer a estimação precisa das necessidades hídricas das culturas e, em conformidade, a aplicação das dotações adequadas, por sistemas de rega de rega bem projetados e funcionando com elevadas eficiências de aplicação e uniformidades de distribuição, ou seja, promovendo o melhor uso da água do ponto de vista da produção e da sustentabilidade ambiental. Uma das metodologias inovadoras para gestão da rega é baseada na teledeteção, com obtenção de imagens multiespectrais adquiridas normalmente por sensores instalados em plataformas espaciais (satélites) (Calera *et al*, 2005). A avaliação do coeficiente basal da cultura baseada nas imagens multiespectrais tem-se mostrado como uma ferramenta operativa de grande validade, confirmada numa ampla evidência experimental, o que permite generalizar a áreas maiores a aplicação precisa da metodologia da FAO explicada anteriormente (Allen *et al*, 2011). As imagens multiespectrais, para além de permitirem a descrição da evolução do coeficiente Kcb da cultura ao longo do seu ciclo (Figura 37), permitem ainda detetar variações de umas zonas para outras (Figura 38), permitindo o cálculo das necessidades de água diferenciado na área coberta pelas imagens, dando cumprimento à questão de “onde regar” no âmbito da agricultura de precisão aplicada à rega.



**Figura 38 – Variação genérica do índice NDVI ao longo do ciclo de uma cultura perene.**



**Figura 39 – Imagens do satélite LandSat com cores relativas à combinação das bandas 7, 4, 3 (esquerda), e mapa com o índice NDVI, pondo em evidência as áreas com atividade agrícola maioritariamente de regadio (direita) (ESRI, 2018).**

Esta metodologia baseia-se na consistente relação linear entre o coeficiente basal de uma cultura e os índices de uma cobertura vegetal, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*), obtido com imagens multiespectrais corrigidas pelo efeito da atmosfera e normalizado para as bandas espectrais do satélite LandSat (os seus valores oscilam entre aproximadamente 0.14, para solo sem vegetação, e 0.91, para cobertos vegetais muito densos). Este índice pode obter-se de forma simples, direta e rigorosa com imagens multiespectrais através de uma combinação algébrica das refletividades na banda do vermelho e do infravermelho próximo (Figura 39),

permitindo aferir como o coberto vegetal absorve a radiação solar fotossinteticamente ativa (Calera *et al*, 2005). Uma das relações entre o valor do coeficiente Kcb, tal como é definido na metodologia da FAO, e o índice NDVI, é a proposta por Campos *et al* (2010):

$$Kcb = 1.44 NDVI - 0.1$$

na qual:

Kcb – coeficiente basal da cultura;

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

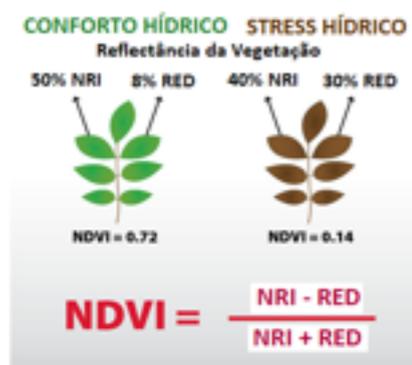


Figura 40 – Esquema que exemplifica a forma como é calculado o índice NDVI (NRI – Near Infra-Red – banda do infravermelho próximo; RED – banda do vermelho).

A aplicação de termografia de infravermelhos para captação da temperatura do copado das plantas também pode dar indicações das necessidades hídricas das plantas, dado que quanto menor for a sua taxa de transpiração em condições propícias a este processo fisiológico (menor a disponibilidade de água dentro da planta e no solo), menor será a temperatura das folhas relativamente à temperatura do ar circundante. Para aplicação desta tecnologia usam-se câmaras termográficas que podem ser acopladas a drones (Figura 40), ou colocadas em dispositivos próprios por cima do copado das culturas. Assim, o princípio base do método consiste na diferença entre a temperatura do coberto e a temperatura do ar. Devidamente calibradas, estas metodologias podem dar valiosas contribuições para a gestão da rega. Na avaliação das condições de conforto hídrico usam-se indicadores de stress tais como, o Índice de Stress Hídrico da Cultura (Crop Water Stress Index - CWSI), podendo ser calculado pela expressão:

$$CWSI = \frac{(Tc - Ta) - (Tc - Ta)_{min}}{(Tc - Ta)_{max} - (Tc - Ta)_{min}}$$

em que:

Tc – temperatura do copado;

Ta – temperatura do ar;

$(Tc - Ta)_{max}$  – máxima diferença entre as temperaturas da superfície do copado e do ar;

$(Tc - Ta)_{min}$  – mínima diferença entre as temperaturas da superfície do copado e do ar.

Deve-se ter presente que a aplicação deste indicador depende grandemente das condições de humidade do ar. Com ar saturado de humidade as plantas têm uma taxa de transpiração nula, sendo a sua temperatura próxima da temperatura do ar circundante. Em condições meteorológicas de ar seco, a temperatura das folhas será facilmente inferior à temperatura do ar. Pelas razões expostas

e porque os valores obtidos também são influenciados pela presença de nuvens, a aplicação desta metodologia deve estar sustentada por um conhecimento consistente sobre esta temática.



Figura 41 – Drone sobrevoando uma área de vinha para obtenção de imagens que auxiliem o manejo da cultura, nomeadamente a operação da rega.

#### 4.4. Estratégias de rega deficitária

O deficit hídrico no solo e as suas consequências imediatas, é o principal fator limitante na obtenção de boas produções quantitativa e qualitativamente, repercutindo-se diretamente no rendimento e produtividade das culturas e afetando negativamente a estrutura dos custos da exploração. Perante a escassez de água, crónica ou apenas circunstancial, é muitas vezes necessário regar com dotações menores que as desejáveis (Fererres e Soriano, 2007). Neste contexto têm especial relevância as estratégias destinadas a uma melhor e mais eficiente uso da água consumida no regadio, como sejam as estratégias de rega deficitária capazes de reduzir a quantidade de água aplicada, com o menor impacto possível na produção. Algumas estratégias de rega deficitária, denominadas regas deficitárias de alta frequência, consistem em regar durante todo o ciclo da cultura com dotações abaixo das suas necessidades, mas praticando uma frequência de regas suficientemente alta para evitar o aparecimento de deficits hídricos transcendentais. Fereres *et al.* (1978) concluíram que estas estratégias se deviam restringir a culturas que sombreassem completamente o solo, mantendo neste um determinado nível mínimo de água. Esta estratégia, podendo constituir uma alternativa ante determinadas circunstâncias, apresenta o inconveniente importante de não considerar que o deficit hídrico pode resultar mais ou menos transcendente em função do momento fenológico das culturas. Por esta razão, nos últimos anos têm adquirido especial relevância abordagens mais fisiológicas da questão, prestando uma especial atenção tanto à fenologia das culturas como à sua capacidade de resistir a situações de deficit hídrico.

Desta maneira surge o conceito de Rega Deficitária Controlada (RDC) (Mitchell *et al.*, 1984), baseado na ideia de reduzir os aportes hídricos nos períodos fenológicos em que um deficit hídrico não afeta sensivelmente a produção e a qualidade da colheita e cobrir plenamente as necessidades hídricas durante o resto do ciclo das culturas.

Os modelos referidos anteriormente (CROPWAT e ISAREG) apesar de permitirem fazer, com base no balanço hídrico do solo, a gestão da rega de acordo com critérios da sua oportunidade e dotação, não estão habilitados a simular o comportamento da cultura com diferentes estratégias de aplicação de água e determinar o seu rendimento final. Deve-se ter presente que o rendimento de uma cultura é influenciada por múltiplos processos agro-biológicos, interagindo em alguns casos entre si, pelo que a sua simulação pode resultar bastante complexa. A representação destes sistemas, com o objetivo da sua simulação, é normalmente simplificada, dando lugar a modelos ainda assim suficientemente rigorosos, ao terem em conta o solo e as suas interações com a fisiologia da planta e a climatologia (Steduto *et al*, 2009). O modelo AQUACROP (FAO, 2018c) é um dos modelos, de entre outros, que é capaz de simular a resposta das culturas à aplicação de água

ao ter incorporada uma equação água-produção resolvida de forma dinâmica ao longo do ciclo de crescimento das culturas, ou seja, considera a maior ou menor importância da necessidade de água nas diferentes fases do seu ciclo; a Figura 41 mostra o aspeto do menu principal do programa *AQUACROP*, com as diferentes categorias de dados a fornecer ao modelo. O balanço de água no solo é calculado diariamente, incluindo os processos de infiltração, escoamento superficial, percolação profunda, ascensão capilar da água, absorção de água pelas plantas, evaporação e transpiração (Steduto *et al.*, 2012). O programa *AQUACROP* foi concebido para ser aplicado preferencialmente em culturas arvenses anuais, estando o seu espectro de aplicação ser alargado às culturas plurianuais ou perenes como é o caso da vinha. O grande interesse da utilização desta categoria de modelos é de, em cenários de escassez de água, poder simular várias estratégias de rega deficitária e ter conhecimento antecipado do impacto na produção.

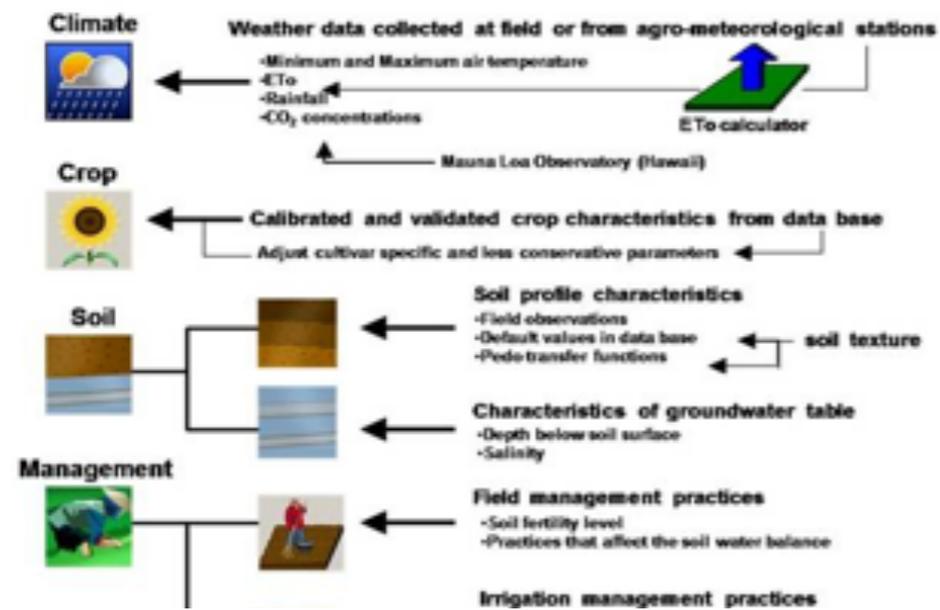


Figura 42 – Aspeto do menu principal do programa *AQUACROP* (FAO, 2018c), com as diferentes categorias de dados a fornecer ao modelo.

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E. 2011. *Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management*, 98: 899–920.
- Bos, M.G., Replogle, J.A., Clemmens, A.J.. 1991. *Flow measuring flumes for open channel systems*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, US.
- Boteta, L., Fabião, M., Santos, M., Brás, P., Varela, M., Santinhos, H., Guerreiro, J., Guerreiro, V., Rodrigues, G. 2018. *A importância das auditorias técnicas aos sistemas de rega no uso eficiente da água e energia. Actas do VII Congresso Nacional de Rega e Drenagem, Monte Real, 27 a 29 Junho 2018, COTR*.
- Calera, A., Campos, I., Garrido, J. 2016. *Determinación de las necesidades de agua y riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales*. Centro Nacional de Tecnología de Regadíos (CENTER), Madrid.
- Calera, A., Jochum, A., Cuesta, A., Montoso, A., González, J.. 2005. *Irrigation management from space: Towards user-friendly products. Irrigation and Drainage Systems* 19:337-353. Springer.
- Campos, I., Neale, C.U., Calera, A., Balbontin, C., González-Piqueras, J. 2010. *Assesing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (Vitis vinifera L.)*. *Agricultural Water Management*, 98: 45-54.
- COTR. 2009. *Benchmarking na Rega e Boas Práticas de Gestão da Rega da Vinha*. Centro Operativo e de Tecnologia do Regadio, Beja.
- COTR (s/d). *Guias de Rega*. Centro Operativo e de Tecnologia do Regadio, Beja.
- DGADR. 2018. *Dotações de referência para a rega em Portugal continental*. Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Acedido em 14 de Novembro de 2018 em <https://www.dgadr.gov.pt/rec/acao-7-5-uso-eficiente-da-agua>.
- DGADR. 2016. *Sistema de Informação do Regadio*. Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, Ministério da Agricultura, Florestas e Desenvolvimento Rural, Disponível em <http://sir.dgadr.pt/>.
- DGDR, IHERA. 2001. *Programa Operacional de Ordenamento do Território e Luta contra a Seca em Portugal*. Direcção-Geral do Desenvolvimento Regional, Lisboa.
- Duarte, A. C. 2017. *O uso da água na agricultura em Portugal Parte I - Evolução da agricultura de regadio; aspetos sociais e institucionais*. Revista EGITANEA CIENCIA, Instituto Politécnico da Guarda, v.1, n.20, 7-28.
- Duarte, A. C. 2006. *Non-point source pollution originated by irrigated agricultural activity, at basin scale*. PhD Thesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes, University of Córdoba, Spain.
- ESRI. 2018. *NDVI Function*. Acedido em 15 de Novembro de 2018 em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>

- FAO. 2018a. *CROPWAT 8.0*. Acedido em 14 de Novembro de 2018 em <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- FAO. 2018b. *CLIMWAT 2.0*. Acedido em 16 de Novembro de 2018 em <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>
- FAO. 2018c. *AQUACROP*. Acedido em 19 de Novembro de 2018 em <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquacrop/en/>
- FAO. 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome.
- Fereres, E., Soriano, M. A. 2007. *Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No.2, pp. 147-159.
- Fereres, E. 1996. *Irrigation Scheduling and its Impact on the 21st Century*. En: Camp, C. R., Sadler, E. J., Yoder, R. E. *Evapotranspiration nad Irrigation Scheduling. Proceedings of the International Conference: 547-553, ASAE, San Antonio, Texas*.
- Fereres, E., Reed, A. D., Meyer, J. L., Aljibury, F. K., Marsh, A. W. 1978. *Irrigation cost*. Univ. California, Div. Agric. Sci. Leaflet nº2875, 15 pp.
- GLOBALAGUA. 2018. *Medidores de Caudal*. GlobalÁgua – Instrumentação e Controlo de Águas, Acedido em 14 de Novembro de 2018 em [http://www.globalagua.pt/cbx/s4\\_cat160.htm](http://www.globalagua.pt/cbx/s4_cat160.htm)
- Henriques, J. D., Palma, J. P., Ribeiro, A. S. 2006. *Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Lisboa.
- IPMA. 2018. *Evapotranspiração (ET<sub>o</sub>) por concelho*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Acedido em 14 de Novembro de 2018 em <http://www.ipma.pt/pt/agrometeorologia/evapotranspiracao/index.jsp?page=index-geo.jsp>
- Junta de Andalucía. 2010. *Manual de Riego para Agricultores - Modulo 4 – Riego localizado*. Junta de Andalucía, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla.
- Lorite, I., Mateos, L., Fereres, E. 2004. *Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. II. Variability among crops and farmers. Irrigation Science* 23: 85-92
- MADRP. 2004. *A Agricultura de Regadio em Portugal Continental: Contributo para o Plano Nacional de Regadio*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa.
- MADRP. 2003. *Levantamento das necessidades de reabilitação dos regadios existentes e/ou beneficiação de regadios tradicionais*. Grupo de Trabalho Agro-Ambiental, Ministérios da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, Lisboa.
- Merriam, J., Keller, J. 1978. *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management. Third Edition*. Utah State University, Logan, Utah.

- Mitchell, P. D., Jerie, P. H., Chalmers, D. J. 1984. *Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 604-606.
- Monteith, J. L., Unsworth, M. H. 1990. *Principles of environmental physics. 2nd edn*, Edward Arnold, London.
- Morgado, F. M. A., 2008. *Impermeabilização de canais de rega a céu aberto*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, IST, Lisboa.
- Oliveira, I. 2011. *Técnicas de Regadio, 2ª Edição* (Tomo I e Tomo II), Edição do Autor, Beja.
- Pereira, L. S. 2005. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publicações europa-América, Lisboa.
- Pereira, L. S.; Teodoro, P. R.; Rodrigues, P. N.; Teixeira J. L. 2003. *Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG*. In: *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions* (Rossi G; Cancelliere A; Pereira L S; Oweis T; Shatanawi M; Zairi A, Eds) pp 161–180. Kluwer, Dordrecht)
- Pizarro, F.C. 1996. *Riegos localizados de alta frecuencia, 3ª Edición*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Raposo, J. R. 1996. *A Rega – Dos primitivos regádios às modernas técnicas de rega*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Raposo, J. R. 1994. *A rega localizada (gota-a-gota e microaspersão)*. Edições Correio Agrícola, Lisboa.
- Sanz, A. 1998. *El Servicio de Asesoramiento al Regante: Su integración en los Planes de vigilancia ambiental de las actuaciones en regadíos, Riegos y Drenajes XXI*, 102:16-21.
- Serralheiro, R. P. 1996. *Modernização e Desenvolvimento da Rega de Superfície*. Publicações “Universidade de Évora”-Ciências Agrárias, Évora.
- Shaozhong, K., Zhang, L., Trout, T. 2017. *Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice*. *Agricultural Water Management* 179 (2017) 5–17.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. 2012. *Crop yield response to water. FAO Irrig Drain*. pp. 66. Rome.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E. 2009. *AquaCrop - the FAO crop model to simulate yield response to water: I: concepts and underlying principles*. *Agronomy Journal*, 101: 426-437.
- Urbina Vinos. 2018. *Riego Deficitario de la Vid*. Acedido em 19 de Novembro de 2018 em <http://urbinavinos.blogspot.com/2015/08/riego-deficitario-controlado-de-la-vid.html>
- U. S. B. R. 1975. *Water measurement manual, 2nd Ed. Revised*. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR), Washington, D.C.