

PROGRAMAÇÃO DA REGA NA PARCELA COM BASE NA UTILIZAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS DE MEDIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO



PROGRAMA DE FORMAÇÃO PARA REGANTES

Outubro 2025

ÍNDICE

1. Introdução	1
2. Fundamentos	2
2.1. Teor de água no solo	2
2.2. Necessidades hídricas das culturas	3
2.2.1. Água armazenada no solo	3
2.2.2. A precipitação efetiva	4
2.2.3. A rega	4
2.3. Influência das condições meteorológicas	4
3. Equipamentos de medição da água no solo	6
4. Componentes e arquitetura	11
4.1. Componentes de um ponto de controlo tipo	11
4.1.1. Sensores	11
4.1.2. Dataloggers	12
4.1.3. Contador volumétrico	12
4.2. Tecnologias de comunicação: <i>Internet of things</i>	13
5. Estação de controlo ou de medição	18
5.1. Escolha da localização	18
5.2. Instalação dos sensores no perfil do solo	19
5.3. Ativação dos pontos de controlo	20
5.4. Plataformas e acesso aos dados	21
5.5. Manutenção	21
5.6. Benefícios dos sensores de humidade do solo	22
6. Interpretação dos dados para a condução da rega	22
6.1. Conceitos prévios	22
6.2. Como regar	27
7. Resumo	29

1. Introdução

Em Espanha, 70 % da água utilizada destina-se à agricultura. As grandes extensões agrícolas de Espanha situam-se geralmente em zonas de clima semiárido com um balanço hídrico natural negativo. Por isso, é necessário o fornecimento de água de rega para obter rendimentos ótimos das culturas. As alterações climáticas, com a situação de aquecimento global e padrões de precipitação alterados, dificultaram as condições para a agricultura em Espanha. O aumento da temperatura modifica os ciclos das culturas, em alguns casos prolongando-os, e aumenta as necessidades hídricas instantâneas das culturas para realizarem as suas funções fisiológicas. Este aumento das necessidades hídricas da agricultura é acompanhado de uma diminuição das reservas hídricas. Os episódios prolongados de seca, a diminuição das reservas de água sob a forma de neve, a ausência de gestão de florestas cada vez mais exigentes em água, a sobre-exploração e o descontrolo dos aquíferos, a concorrência pelo recurso com outros setores económicos e os requisitos de manutenção dos meios aquáticos provocaram uma diminuição significativa da qualidade e da disponibilidade da água nos reservatórios onde a armazenamos para os diferentes usos: as albufeiras e os aquíferos.

Por isso, a utilização eficaz e eficiente da água no setor do regadio é fundamental para manter a produção de alimentos e o meio natural associado à água em bom estado ecológico, adaptando o setor a uma menor disponibilidade de água provocada pelas alterações climáticas e pelos restantes usos.

As tecnologias digitais permitem melhorar processos e tarefas de gestão próprios das explorações agrícolas. Atualmente, existe uma ampla gama comercial de tecnologias digitais com um elevado grau de maturidade que permitem gerir e até controlar de forma eficaz, e com um custo cada vez menor, a rega na parcela. Estas tecnologias permitem aumentar a eficiência no uso da água, o recurso mais crítico na agricultura de zonas com escassez. Estas tecnologias permitem aos agricultores otimizar os seus recursos hídricos, melhorando a produtividade das culturas e reduzindo o impacto que a atividade agrícola possa causar no ambiente.

Neste documento do programa de formação para agricultores do projeto *Smart Green Water* serão apresentados conceitos fundamentais para aprender a gerir a rega ao nível da parcela com base na utilização de sensores digitais de medição do teor de água no solo. Estes sensores permitem programar a rega minimizando as perdas de água e mantendo a zona radicular com uma hidratação ótima que não comprometa o rendimento da cultura.

2. Fundamentos

2.1. Teor de água no solo

Neste capítulo explicam-se alguns conceitos fundamentais relacionados com a humidade do solo. Os termos aqui introduzidos são essenciais para compreender o equilíbrio hídrico do solo e o momento oportuno para aplicar a rega, garantindo assim o desenvolvimento saudável das culturas e o uso responsável do recurso hídrico.

Capacidade de campo (CC): teor máximo de água que um solo consegue reter sem drenagem. Neste ponto, o solo está húmido, mas não saturado. Corresponde aproximadamente ao teor de água retido por uma amostra de solo saturada e depois submetida a uma tensão de -33 kPa.

Coeficiente de emurchecimento permanente (CEP): é o nível de humidade do solo a partir do qual as plantas já não conseguem extrair água suficiente, pelo que começam a murchar de forma irreversível. Corresponde habitualmente a uma tensão de -1500 kPa.

Água disponível para as plantas (ADP): é a fração da água presente no solo que pode ser efetivamente absorvida e utilizada pelas raízes das plantas para realizarem as suas funções vitais. Este valor calcula-se como a diferença entre CC e CEP. Fora deste intervalo, ou há água em excesso ou há tão pouca que a planta não a consegue absorver.

Água facilmente aproveitável (AFA) pelas plantas: é a parte da ADP cujo uso não implica qualquer esforço nem stress para as culturas.

Portanto, o objetivo principal da gestão da rega é manter o teor de água no solo dentro da faixa da ADP. Este conceito será de grande importância na interpretação dos dados dos sensores de água no solo e na tomada de decisões na programação da rega (Figura 1).

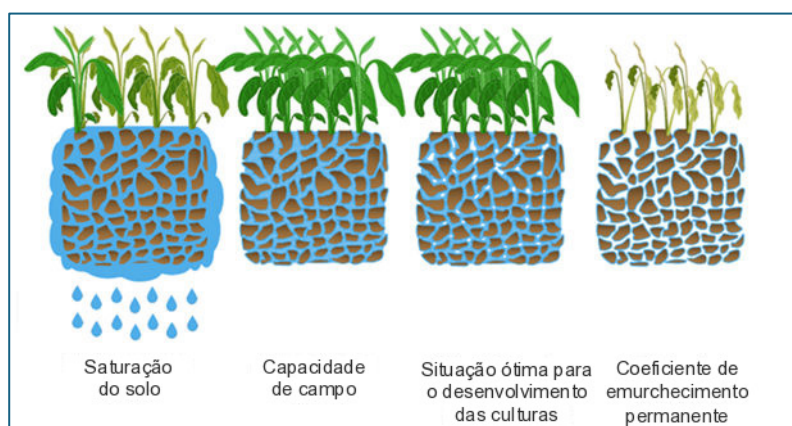


Figura 1: Diferentes níveis de água contida no solo e as suas consequências.

2.2. Necessidades hídricas das culturas

Para determinar quanta água uma cultura realmente necessita em função das condições climáticas e da sua fase de desenvolvimento, é fundamental compreender os conceitos de evapotranspiração de referência (ET_0), evapotranspiração da cultura (ET_c) e coeficiente cultural (K_c).

ET_0 : representa a quantidade de água que uma superfície vegetal de referência utilizaria através dos processos combinados de evaporação e transpiração, em condições atmosféricas padrão.

ET_c : é a necessidade hídrica específica de uma determinada cultura, obtida multiplicando a ET_0 por um fator designado K_c .

K_c : coeficiente que varia consoante o tipo de cultura, o seu desenvolvimento e a sua fase fenológica (início, crescimento, floração, maturação, etc.), permitindo ajustar com precisão as necessidades de rega.

É importante ter presente que as necessidades hídricas das culturas podem ser satisfeitas por três vias diferentes, não exclusivas entre si:

2.2.1. Água armazenada no solo

O solo é um reservatório de água que nem sempre está vazio. Por isso, conhecer o estado de hidratação do solo antes da sementeira, no caso das culturas extensivas, ou do abrolhamento, no caso das fruteiras de folha caduca, permite-nos definir o momento ótimo para iniciar as regas.

Para as culturas extensivas de verão e as fruteiras, em anos de primaveras chuvosas, esta quantidade de água armazenada no solo pode ser importante, dependendo da capacidade de retenção de água disponível do solo, e considera-se geralmente que o solo começa à capacidade de campo (o reservatório cheio) no início da campanha. Pelo contrário, em anos com invernos e primaveras secos, a água armazenada no solo pode estar significativamente abaixo da capacidade de campo, o que implica que a cultura inicie o ciclo em condições de stress hídrico, com a consequente redução do vigor e do potencial produtivo. À medida que a campanha avança, a cultura utiliza a água do solo (esvazia o reservatório), e esta água será reposta total (até à capacidade de campo) ou parcialmente através da chuva ou da rega. Neste contexto, a presença de sensores de água no solo fornece informação sobre a água armazenada no solo e sobre a sua variação, o que evita o excesso de rega (acima da capacidade de campo) ou um défice hídrico indesejado.

2.2.2. A precipitação efetiva

A chuva que pode ser aproveitada pela cultura designa-se por precipitação efetiva. Chuvas pouco abundantes (<3 mm) consideram-se não efetivas, uma vez que molham apenas a camada superficial do solo e muito provavelmente evaporam-se. Chuvas muito abundantes em períodos curtos favorecem o escoamento superficial e são muito difíceis de estimar. Chuvas muito abundantes num período de tempo longo consideram-se capazes de encher efetivamente o perfil do solo até atingir a capacidade de campo, no solo explorável pelas raízes da cultura, que é um reservatório finito. A incorporação de sensores de humidade no solo permite obter informação precisa sobre a quantidade de chuva realmente disponível para a planta, bem como sobre a quantidade de água que se perde por drenagem.

2.2.3. A rega

A dotação de rega é a quantidade de água que devemos fornecer ao solo para compensar a evapotranspiração da cultura e a ineficiência do próprio sistema de rega. Calcula-se através da seguinte equação:

$$DR = \frac{ETc - Pe}{Eff} \pm \Delta SWC$$

Onde:

DR = Dotação de rega (mm)

ETc = evapotranspiração da cultura (mm) calculada como $ETc = ET_o * kc$

ETo = evapotranspiração de referência obtida de uma estação meteorológica próxima

kc = coeficiente cultural obtido de tabelas de referência

Pe = precipitação efetiva (mm)

Eff = eficiência do sistema de rega (aproximadamente 0.9 para rega localizada; 0.8 para rega por aspersão; 0.6 para rega de superfície)

ΔSWC = excedente ou déficit do evento de humedecimento anterior. Este valor pode ser estimado através da análise dos declives dos valores mínimos dos sensores de humidade do solo

Conceptualmente, a evapotranspiração da cultura (ETc) é constituída por duas componentes principais: a transpiração, que é a difusão de água da planta, através das folhas, para a atmosfera, e a evaporação, que corresponde à difusão de água do solo para a atmosfera.

2.3. Influência das condições meteorológicas

Dias com maior insolação e temperaturas elevadas aumentam a evapotranspiração, o que se traduz em maiores necessidades hídricas da cultura. Por este motivo, ter em conta as condições meteorológicas atuais e, sobretudo, as previsões para a zona permite tomar

decisões fundamentadas, quer baseadas em dados passados, em tempo real ou antecipando situações futuras.

Como se verá mais adiante, muitos sistemas de gestão da rega têm a capacidade de integrar os dados meteorológicos de uma estação próxima para ajustar os seus cálculos, reduzindo a quantidade de água aplicada se se preverem chuvas, ou aumentando-a em caso de ondas de calor ou outras condições que aumentem as necessidades hídricas.

3. Equipamentos de medição da água no solo

Há diferentes formas de programar a rega. Pode fazer-se de forma constante durante toda a campanha, basear-se na experiência do agricultor sem dados muito precisos, utilizar um método científico fiável chamado balanço hídrico, recorrer a tecnologias avançadas que facilitam a tomada de decisões ou combinar os diferentes métodos e tecnologias.

Do ponto de vista técnico, podemos estimar as necessidades de rega de uma cultura unicamente a partir do balanço hídrico do solo. Esta estimativa baseia-se em calcular a água que a cultura utiliza através da evapotranspiração, um processo natural e necessário para as plantas, e compará-la com a água disponível, que provém da chuva, da rega e da água disponível no solo. Embora o método do balanço hídrico seja bastante fiável, costuma apresentar alguns erros. Entre os erros mais comuns está a sobrestimação da evapotranspiração, o que costuma provocar uma rega excessiva e o afastamento da água da zona radicular por percolação profunda ou escoamento superficial, bem como a subavaliação da quantidade de chuva. Pelo contrário, através do método do balanço hídrico também se podem subestimar as necessidades hídricas das culturas, provocando a secagem do solo e a entrada da cultura em zona de stress hídrico, com a consequente diminuição do rendimento.

Com a informação fornecida pelos sensores de humidade do solo, é possível ajustar o método do balanço hídrico e manter a cultura numa zona de conforto hídrico. Através desta informação podem analisar-se os padrões de absorção de água pelas plantas, bem como as perdas por percolação profunda, ajudando-nos assim a determinar quando (frequência) e quanto (quantidade) regar, evitando um excesso ou um défice na rega. Geralmente, o uso de sensores de água no solo para regar traduz-se numa maior eficiência no uso da água, reduzindo o volume de rega sem alterar o rendimento da cultura. Além disso, ao reduzir-se o volume de água de rega, diminuem os custos da rega sob a forma de energia, custo direto da água ou lixiviação de fertilizantes, podendo ser economicamente rentáveis para uma exploração a médio prazo.

O uso de equipamentos que permitem determinar o teor de água no solo facilita a monitorização do estado hídrico do solo praticamente em tempo real. Assim, proporcionam-nos imediatez na informação, o que agiliza a tomada de decisões acertadas. Estas ferramentas não só registam os dados como também os enviam para a nuvem, através da tecnologia da *Internet of Things (IoT)*, facilitando a consulta e a análise posterior a partir de um computador ou telemóvel, sem necessidade de se deslocar à parcela. Além de monitorizarem o estado hídrico do solo, os equipamentos de sensores podem alertar para falhas de funcionamento do sistema de rega antes que seja demasiado tarde. Os

equipamentos estão preparados para estar ao ar livre e durar longas temporadas no campo sem necessidade de supervisão. São robustos e o seu design está pensado para otimizar o consumo de energia (habitualmente usam-se pilhas convencionais, mas em alguns casos funcionam também com pequenos painéis solares).

Em resumo, como se mostra ao longo deste documento, estes sistemas, colocados nos locais adequados e representativos de uma parcela, podem fornecer informação precisa, fiável, imediata e acessível remotamente. Esta informação é de grande valor para melhorar a tomada de decisões na programação da rega, aumentando a eficiência no uso da água nas parcelas.

Embora existam diversos tipos de sensores de humidade do solo -como os dielétricos, os de resistência e os tensiómetros-, este documento centra-se nos sensores dielétricos, devido ao seu custo moderado, baixa manutenção, elevada fiabilidade, resposta rápida em parcelas de regadio e longa durabilidade. Estes sensores medem a capacidade do solo para armazenar carga elétrica (ou dielétrica) com o objetivo de estimar o seu teor de humidade. A constante dielétrica do ar e do solo é muito menor do que a da água, pelo que as variações na constante dielétrica do solo podem ser assumidas como variações no seu teor de água.

Existem diferentes tipos de sensores dielétricos:

Sensores com tecnologia FDR (*Frequency Domain Reflectometry*): Utilizam o solo como condensador para medir a frequência de ressonância máxima no circuito elétrico e relacionar a frequência de ressonância com o teor de água (Figura 2).



Figura 2: Sensor FDR, 10HS ECHO Decagon

Sensores com tecnologia TDR (*Time Domain Reflectometry*): Um sensor TDR mede o tempo de percurso de uma onda refletida de energia elétrica ao longo de uma linha de transmissão. O tempo de percurso está relacionado com a capacidade de armazenamento de carga do solo e com o teor volumétrico de água.

Os sensores TDR são mais caros do que os FDR; por este motivo, os primeiros utilizam-se mais em parcelas experimentais e os segundos, talvez mais em campos comerciais.

Sensores de capacitância: Utilizam o solo como elemento condensador e empregam a capacidade de armazenamento de carga do solo para calibrar o teor de água (Figura 3). Trata-se de sensores muito fiáveis e com pouco efeito do tipo de solo, da densidade aparente e da salinidade nas medições. Os sensores capacitivos foram concebidos para serem fáceis de instalar, desde que a instalação seja feita com minúcia. Requerem uma manutenção mínima, o que os torna adequados para utilização numa ampla gama de ambientes agrícolas. Isto facilita a instalação pelo próprio utilizador, se necessário, embora na maioria dos casos sejam serviços que as próprias empresas já contemplam e incluem.

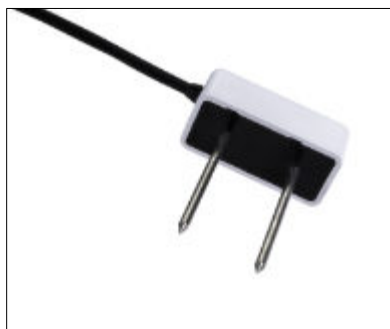


Figura 3: Sensor de capacitância Teros 10 da METER

A instalação destes sensores no campo é um ponto crítico. É indispensável um muito bom contacto com a matriz do solo e, se possível, sem compactações nem alterações nos pontos de medição. Existem dois tipos de sensores ou sondas de sensores que diferem na sua instalação: as sondas tubulares e os sensores modulares:

Sondas tubulares: contêm uma série de sensores distribuídos na vertical, a distâncias entre si já determinadas, ao longo de um tubo. Estas sondas instalam-se com um trado e inserem-se verticalmente (Figura 4). A vantagem é a sua fácil instalação e a desvantagem é que a sua distribuição é determinada pelo fornecedor e devem ser instaladas fora do alcance da maquinaria agrícola.



Figura 4: Imagem de um sensor tubular e da sua instalação.

Sensores modulares: podem ser instalados individualmente, abrindo uma cova com uma pá, procurando alterar o mínimo possível a superfície do solo onde os sensores vão ser inseridos horizontalmente, ou com um trado (Figura 5), evitando em ambos os casos possíveis vias preferenciais de água. Uma vez instalados os sensores, deve compactar-se o solo à medida que se enche a cova, sem força excessiva.



Figura 5: Instalação de sensores modulares.

Apresenta-se de seguida um quadro comparativo (Quadro 1) que resume as tipologias mais comuns e as suas vantagens e desvantagens.

Quadro 1: Resumo da tipologia de sensores.

Tecnologia	Princípio de funcionamento	Vantagens	Desvantagens
FDR	Mede a constante dielétrica do solo através de sinais de alta frequência	Rápido e preciso Boa sensibilidade Baixo consumo energético	Requer calibração específica por tipo de solo Pode ser afetado pela salinidade
TDR	Mede o tempo que um impulso eletromagnético demora a refletir-se no solo	Elevada precisão Independente da salinidade Muito estável	Dispendioso Equipamentos mais complexos e delicados
Capacitiva	Semelhantes aos FDR, medem a capacitância, que varia com o teor de água	Económicos Fácil instalação Baixo consumo energético	Menos precisos do que os TDR Afetados pelo tipo de solo e pela salinidade

4. Componentes e arquitetura

Neste capítulo descrevem-se os principais componentes que constituem um sistema típico de medição da humidade do solo.

4.1. Componentes de um ponto de controlo tipo

Embora existam muitos modelos e opções diferentes, e até muitas empresas diferentes que oferecem este tipo de produtos, os pontos de controlo terão habitualmente características mais ou menos comuns. Cada um destes pontos é constituído principalmente por 3 partes: (1) os sensores de humidade do solo, (2) o datalogger, que regista os dados e, em alguns casos e de forma recomendável, os envia para a nuvem e, na maioria dos casos e de forma altamente recomendável, (3) um contador de rega. Muitos dos sistemas que podem enviar dados remotamente estão associados a programas ou aplicações móveis com interfaces que facilitam ao regante a interpretação da informação gerada pelos dados dos sensores.

4.1.1. Sensores

A tipologia de sensores existentes no mercado já foi abordada no capítulo anterior. A sua instalação na vertical, acompanhando o perfil do solo a diferentes profundidades, é uma configuração muito comum. Por exemplo, em fruteiras com pouca profundidade radicular e rega de alta frequência, colocam-se geralmente 3 sondas a 20, 40 e 60 cm de profundidade. Isto permite ver a dinâmica da água de rega ou da chuva ao longo do perfil do solo na zona de absorção radicular e abaixo dela. Em contrapartida, em culturas com rega de apoio e elevada capacidade de penetração radicular, esta distribuição de sensores pode não ser a mais adequada. Por outro lado, em culturas extensivas ou hortícolas com raízes pouco profundas também é habitual utilizar 2 a 3 sensores, mas muitas vezes a menor profundidade (15, 30 e 45 cm), uma vez que não faria sentido monitorizar a maior profundidade se o sistema radicular da cultura não se desenvolve nessa zona.

Além de ter em conta a localização em função da cultura, a localização em função do sistema de rega também é de grande importância (não é o mesmo uma parcela de fruteiras regada gota a gota e um campo de milho regado por aspersão). Num sistema de rega gota a gota, sensores colocados mesmo por baixo do gotejador darão informação sobre a zona saturada do solo, enquanto, à medida que os afastamos (sempre dentro da superfície húmida), fornecerão uma informação detalhada sobre a forma como o bolbo húmido se expande e contrai em cada evento de rega.

4.1.2. Dataloggers

Os dados recolhidos pelos sensores são registados no datalogger. Estes sistemas monitorizam e armazenam os dados e encarregam-se de os enviar para a nuvem (ou não, dependendo da tecnologia escolhida) através de diferentes métodos: pode ser diretamente a partir do datalogger ou através de um gateway ou concentrador (o que se designa por envio em estrela ou em malha). As caixas onde se ligam os sensores (Figura 6) funcionam habitualmente com pilhas (embora também existam modelos que funcionam com painéis solares ou baterias) e permitem configurar com que frequência queremos registar ou enviar os dados, entre outros aspetos. Quanto maior a frequência de medição e de envio, maior o consumo de energia do datalogger, mas maior a precisão dos dados. A necessidade de permanecer longas temporadas ao ar livre, à chuva e a outras intempéries obriga os dataloggers a ter um funcionamento robusto e estanque, identificado pelas normas IP (mínimo IP65).



Figura 6: Vista frontal de um datalogger Em500 alimentado por pilhas com um contador de água de impulsos num pomar de macieiras.

4.1.3. Contador volumétrico

O contador volumétrico de rega permite conhecer a água aplicada na parcela. Instala-se habitualmente no início de uma linha de rega, no caso de fruteiras regadas gota a gota, ou

num aspersor individual, no caso da rega por aspersão. Com a informação do contador e a superfície de rega monitorizada por esse contador, podemos conhecer a rega da parcela em m^3/ha ou mm. O contador permite verificar se a rega se ajusta à programação estabelecida, o que facilita a deteção de possíveis desvios. Além disso, a leitura simultânea de contadores e sensores de humidade do solo num mesmo datalogger simplifica consideravelmente a interpretação dos dados dos sensores (Figura 7), ao permitir visualizar a chegada da frente húmida e distinguir entre eventos de rega e chuvas.

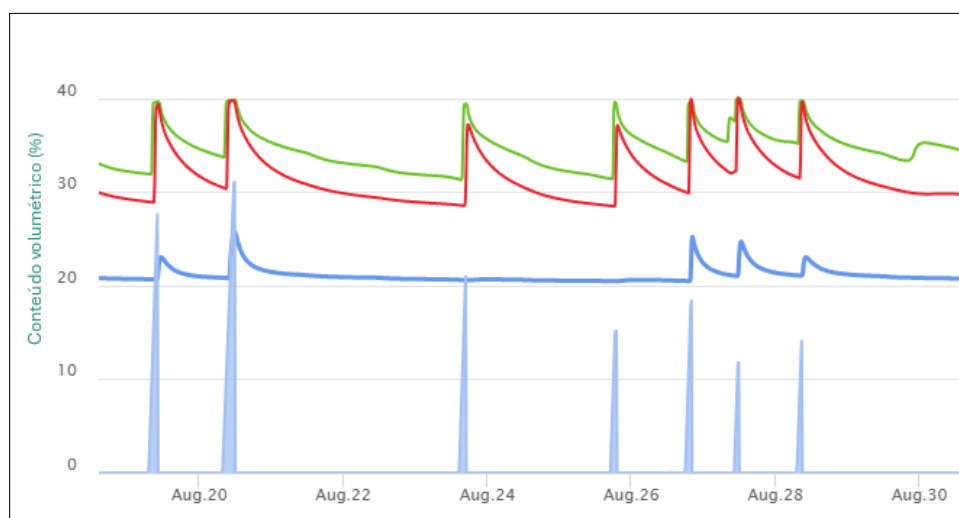


Figura 7: Vista dos dados de 3 sensores de humidade a diferentes profundidades (verde a 20 cm, vermelho a 40 cm e azul a 60 cm) com caudalímetro instalado na linha de gotejadores (triângulos azuis).

4.2. Tecnologias de comunicação: *Internet of things*

Há alguns anos, a falta de conectividade à internet nos dispositivos de registo de dados (sensores e dataloggers instalados em parcelas agrícolas) obrigava a armazenar a informação localmente, o que exigia deslocar-se fisicamente ao campo para descarregar os dados com um computador. Isto limitava fortemente a imediatez da informação e, por conseguinte, atrasava a tomada de decisões e gerava uma forte dependência de pessoal para a recolha manual de dados. Atualmente, a maioria dos *dataloggers* já incorpora um sistema de transmissão de dados para a nuvem por diferentes vias e com periodicidade configurável, embora este serviço tenha um custo. Apresentam-se de seguida os principais sistemas de comunicação disponíveis, as tecnologias utilizadas e as suas vantagens e inconvenientes.

O paradigma da IoT (Internet of Things) oferece a possibilidade de ligar à internet uma grande quantidade de dispositivos (máquinas, sensores ou ‘coisas’) de baixo consumo a partir de qualquer localização, graças ao uso de cartões SIM. Têm uma capacidade de transmissão de dados e uma periodicidade limitadas, o que garante uma grande autonomia e custos de conectividade reduzidos (devido ao custo aplicado por MByte recebido ou enviado, tal como conhecemos atualmente com as redes 3G/4G/5G).

O Quadro 2 apresenta um resumo das vantagens, desvantagens e requisitos gerais que podemos encontrar numa rede IoT aplicada numa parcela agrícola.

Quadro 2: vantagens, desvantagens e requisitos gerais de uma rede IoT.

Vantagem	Desvantagem	Requisitos
Baixa manutenção	Baixa velocidade de transmissão de dados	Cobertura de operador móvel
Permite ligações por cabo ou sem fios entre múltiplos dispositivos de uma exploração	Alcance limitado nas ligações sem fios devido ao tipo de terreno	Os dispositivos devem estar bem protegidos para ‘sobreviver’ no exterior
Conectividade à internet		Cartão SIM (a quantidade dependerá do tipo de rede instalada)
Preços de infraestrutura acessíveis		Alimentação por painel solar/pilhas
Baixo consumo de bateria		
Baixo consumo de dados (SIM)		

Para montar uma rede podemos aplicar (e combinar) diferentes tecnologias IoT, como por exemplo o conhecido 3G, NB-IoT (NarrowBand IoT), LTE-M, LoRa, WiFi ou BLE (Bluetooth), concebidas para oferecer baixo consumo energético, melhor alcance e tarifas otimizadas para pequenos volumes de dados.

Descreve-se de seguida uma breve lista de características e exemplos de utilização de cada uma destas comunicações sem fios:

2G/3G/4G/5G

- Tipologia de redes mais conhecidas habitualmente.
- Requer que cada dispositivo tenha um cartão SIM.
- A ligação depende da cobertura do operador móvel (Vodafone, Movistar, Orange, etc.).

- Permite a transmissão de grandes volumes de dados (imagem, vídeo, etc.) a alta velocidade e em tempo real. A velocidade e a cobertura dependem da tecnologia disponível:
 - o 2G: de 30 a 50 kbps (atualmente em desuso).
 - o 3G: de 5 a 8 Mbps, entre 3 e 11 km de cobertura.
 - o 4G: de 50 a 80 Mbps, cerca de 8 km de cobertura.
 - o 5G: de 50 Mbps a 5 Gbps, entre 300 e 450 m de cobertura.
- A elevada frequência e velocidade de transmissão de dados implica um consumo de energia elevado, pelo que é pouco adequada para dispositivos alimentados a bateria (a duração pode ser de horas ou de poucos dias).
- Usos típicos: ligar à internet dispositivos com elevada necessidade de transmissão de dados (telemóveis, câmaras de vídeo, etc.)

NarrowBand-IoT

- Requer que cada dispositivo tenha um cartão SIM.
- A ligação também depende do operador.
- Menor consumo de bateria (as baterias podem chegar a durar anos)
- Menor velocidade de transmissão de dados (até 250 Kbps).
- Otimizado para programar o envio de dados a intervalos regulares de tempo (não em tempo real).
- Pensado para comunicar dispositivos estáticos. Ao mudar de localização pode demorar a voltar a ligar-se.
- Cobertura ampla graças ao uso de bandas de rádio de longo alcance, até 10 km.
- Usos típicos: ligar a um servidor web diferentes sensores de humidade, estações meteorológicas, etc.

LTE-M

- Requer que cada dispositivo tenha um cartão SIM.
- A ligação também depende do operador.
- Rede orientada para dispositivos móveis, já que, estando em movimento, pode mudar de antena sem perder a ligação, oferecendo uma conectividade mais estável.
- Consumo de energia ligeiramente superior ao NB-IoT (as baterias duram meses).
- Transmissões até 1 Mbps, atingindo até 10km em condições favoráveis.
- Permite enviar dados quase em tempo real, incluindo áudio ou localização frequente.
- Usos típicos: rastreio de tratores gado, drones, etc.

LoRa

- Os dispositivos não incluem um cartão SIM, pelo que uma rede 'puramente LoRa' não tem ligação à internet.

- As redes LoRa são privadas (uma vez que não estão ligadas a nenhuma outra rede), pelo que é necessário que alguém faça a instalação dos dispositivos emissores e recetores 'de raiz'.
- Requer que os dispositivos tenham um chip LoRa para poderem comunicar entre si.
- É necessário incluir outro dispositivo (habitualmente conhecido como Gateway) com acesso à internet para cumprir o paradigma IoT, permitindo assim pagar até por um único SIM. Isto reduz significativamente o custo de transmissão de dados.
- Comunicação por rádio de longo alcance (tipicamente entre 5 e 15km, dependendo das irregularidades do terreno).
- Consumo de bateria muito baixo (pode durar anos).
- Menor velocidade, entre 0.3 e 50 Kbps. Não permite comunicação em tempo real.
- Usos típicos: sensores distribuídos em explorações extensas (humidade, válvulas, estações meteorológicas).

WiFi

- Rede sem fios convencional. Requer que os dispositivos com chip WiFi se liguem a um router da exploração que tenha ligação à internet.
- Fácil de instalar se a exploração já dispuser de rede WiFi.
- Grande velocidade de transmissão de dados (ideal para transmissão de imagens e vídeos em tempo real). Pode variar consoante a banda do router instalado, por exemplo:
 - o 2.4 GHz: até 100 Mbps, com um alcance até 100m em condições ideais em meio rural.
 - o 5 GHz: até 1 Gbps, com um alcance entre 30 e 60m em condições ideais em meio rural.
- Consumo de energia elevado (por isso, não é adequado para dispositivos alimentados por bateria).
- Usos típicos: câmaras de videovigilância, sensores em ambientes controlados ou ligados à corrente elétrica.

Bluetooth Low Energy (BLE)

- Variante Low Energy do Bluetooth tradicional.
- Curto alcance, até 10m (dependendo das características do terreno).
- Consumo muito baixo (as baterias poderiam durar anos).
- Velocidade muito reduzida, até 1 Mbps.
- Os dispositivos BLE devem ligar-se a um HUB ou telemóvel (dispositivos recetores) próximo para terem acesso à internet.
- Uso típico: sensores cujas leituras podem ser obtidas com o telemóvel, ou sensores localizados dentro de uma estufa.

De seguida, no Quadro 3, encontra-se um resumo das características de cada tecnologia.

Quadro 3: Comparação das características entre diferentes tecnologias IoT

Características	3G/4G/5G	NB-IoT	LTE-M	LoRa	WiFi	BLE
Velocidade	Entre 5 Mbps e 5 Gbps	Até 250 Kbps	Até 1 Mbps	Até 50 Kbps	De 100 Mbps a 1 Gbps	Até 1 Mbps
Alcance	Entre 300m e 11km	Até 10 km	Até 10 km	Entre 5 e 15 km	Entre 30 e 100 m	Até 10 m
Duração da bateria	Muito baixa (dias)	Muito alta (anos)	Alta (meses)	Muito alta (anos)	Muito baixa (dias)	Muito alta (anos)
Requer SIM em cada dispositivo	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
Requisitos ou Limitações	Disponibilidade do operador móvel	Envios pontuais de dados	Disponibilidade do operador	Gateway	Router	HUB

5. Estação de controlo ou de medição

5.1. Escolha da localização

Decidir onde instalar cada ponto de controlo é uma das decisões mais importantes. Não é possível ter uma grande quantidade de equipamentos por parcela, uma vez que se corre o risco de baixar a rentabilidade da exploração devido ao custo da instrumentação. Embora as empresas especializadas costumem identificar os melhores pontos de controlo, ninguém conhece tão bem como o próprio agricultor as particularidades da sua exploração. O seu conhecimento do terreno é essencial para uma correta localização dos pontos de controlo.

O primeiro aspeto a considerar é a variabilidade do terreno e a distribuição dos setores de rega. Em algumas explorações, o solo pode ter um comportamento homogéneo, abrangendo até vários setores de rega. Nestes casos, um ou poucos pontos de controlo podem ser suficientes para representar adequadamente toda a exploração. No entanto, em explorações com maior complexidade (seja pela orografia ou pela tipologia de solos), a variabilidade pode ser elevada, mesmo dentro de um único setor de rega. Nestes casos, pode ser recomendável instalar vários pontos de controlo por exploração ou até por setor, ou então tomar uma decisão baseada no tipo de solo e no relevo que minimize o erro, caso se pretenda gerir a rega com base nos dados obtidos pelos sensores.

Em qualquer destas situações, a experiência do agricultor e os conhecimentos dos técnicos devem ser suficientes para escolher o número ideal de sensores e as suas localizações na exploração. Dentro de cada parcela ou setor de rega, uma vez iniciada a instalação, é também conveniente escolher um ponto representativo onde, em geral, as culturas tenham um aspeto homogéneo e bom vigor. É de grande utilidade o uso de imagens de satélite anteriores com algum indicador de vigor das culturas para determinar as zonas mais representativas ou que se pretendam utilizar como referência. É também importante verificar que o sistema de rega funciona bem nesse ponto, pois, caso contrário, isso pode gerar erros. Para tal, deve fazer-se uma análise da uniformidade da rega.

Aconselha-se a recolha de amostras de solo (muitas empresas já o incluem no protocolo) para poder realizar uma análise das características físicas e texturais do solo, conhecer o seu comportamento hidráulico e poder ajustar os valores de capacidade de campo e do coeficiente de emurchecimento permanente, bem como definir as curvas características que relacionam a tensão com que o solo retém a água com o teor volumétrico de água no solo.

5.2. Instalação dos sensores no perfil do solo

A correta instalação dos sensores de humidade no perfil do solo é um fator determinante para obter dados fiáveis e representativos do estado hídrico da cultura. Uma instalação deficiente pode provocar leituras erradas, perda de contacto entre o sensor e o solo, ou danos no equipamento. Por isso, é fundamental realizar a colocação seguindo as recomendações do fabricante, utilizando ferramentas adequadas para evitar a alteração da estrutura do solo e garantindo um bom contacto entre o sensor e o solo.

A profundidade de instalação deve ser definida em função do tipo de cultura, do sistema radicular e dos objetivos da monitorização. Em culturas com raízes profundas, como fruteiras ou culturas extensivas, é habitual instalar sensores a diferentes profundidades (por exemplo, 20, 40 e 60 cm) para captar a dinâmica da humidade em todo o perfil ativo. Em culturas hortícolas ou de raízes mais superficiais, bastarão um ou dois pontos de medição. É importante também considerar a textura do solo, uma vez que esta influencia a retenção de água e, por conseguinte, a interpretação dos dados. No caso das sondas modulares, a profundidade de instalação de cada sonda é um fator que não é determinado pela configuração da sonda. No entanto, no caso das sondas tubulares ou multiprofundidade, o utilizador deve ter clara a configuração da sonda a instalar, uma vez que esta é determinada pelo fabricante.

Para garantir uma instalação ótima, recomenda-se colocar a sonda quando o solo tiver um teor de humidade ótimo, pois isso ajuda a evitar o desmoronamento do solo e a minimizar a formação de espaços de ar e fendas que podem surgir posteriormente quando o solo secar. Para minimizar os danos nas raízes das culturas, recomenda-se instalar os sensores quando as culturas não estão ativas. É importante evitar zonas excessivamente pedregosas, uma vez que dificultam a perfuração com a broca ou a pá, podem deixar cavidades de ar à volta do sensor ou interferências devido à proximidade de pedras grandes, o que pode distorcer as leituras. Normalmente, as sondas tubulares instalam-se com broca ou trado. Neste tipo de sondas, é importante, uma vez instalada a sonda no furo, adicionar à volta da sonda parte do solo extraído em estado de humidade de saturação, para evitar que fiquem bolsas de ar retidas em redor da sonda que alterariam as leituras. Durante a perfuração, deve manter-se um ângulo de 90° com a superfície do solo para assegurar uma inserção vertical e precisa. As sondas modulares podem instalar-se com trado ou com uma pá. Neste caso, durante a perfuração ou escavação da cova, deve retirar-se cuidadosamente o solo extraído para a sua reposição, preferencialmente respeitando as camadas do solo original, quando se enterrar a sonda, procurando a alteração mínima das condições naturais do terreno. Além disso, é fundamental considerar as operações agrícolas previstas nas proximidades do ponto de

instalação e proteger a cablagem quando necessário, para evitar danos causados por máquinas ou pisoteio. A instalação dos sensores é um ponto crítico, pelo que é altamente recomendável aconselhar-se junto de técnicos especialistas na instalação de sondas ou até solicitar a instalação a empresas de sondas de humidade para obter resultados fiáveis.

Embora possa haver sempre exceções consoante o tipo de cultura, o sistema de rega e as características do solo, na rega localizada e por aspersão aconselha-se seguir estes critérios de instalação (Figura 8):

- ✦ Instalar o dispositivo na zona intermédia entre a vertical de um gotejador e o limite da área húmida à superfície.
- ✦ Profundidade do sensor sempre dentro da zona radicular da cultura. O sensor mais profundo na zona limite (para detetar fluxos de lixiviação), o sensor intermédio na zona de maior densidade radicular (para detetar as máximas extrações da cultura) e o sensor superficial a meia distância entre o sensor intermédio e a superfície do solo (para detetar a precipitação efetiva).

Por exemplo, em macieiras em regime intensivo (2.000 árvores/ha) é habitual que estejam colocados a 15, 30 e 45 cm de profundidade.

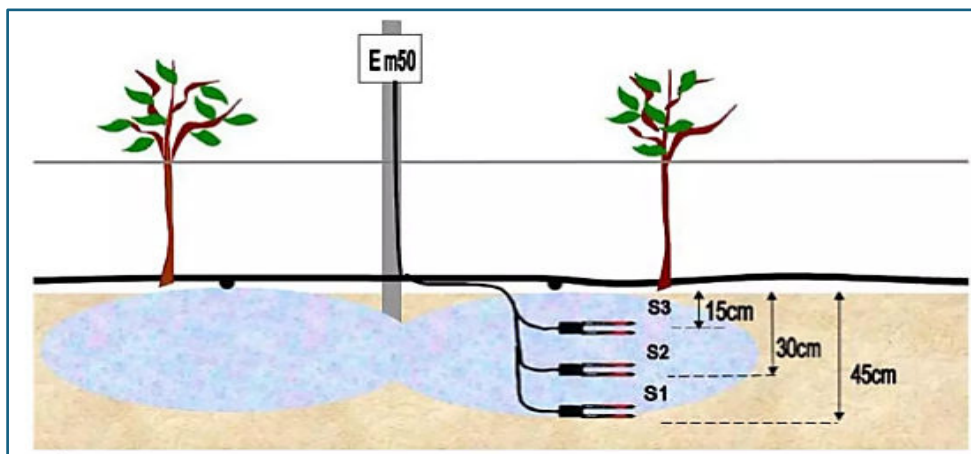


Figura 8: Esquema de instalação de sensores modulares numa plantação de culturas lenhosas (original da SAF Sampling Water)

5.3. Ativação dos pontos de controlo

Uma vez instalado o ponto de controlo e ativado o envio de dados, estes começam a ser registados de imediato. Muitas vezes, pode ser conveniente fazer uma rega abundante após a instalação dos sensores, com o objetivo de assentar o solo e garantir que os sensores

detetam a frente húmida e que os dados são enviados corretamente. Esta rega ou chuva abundante pode servir como dado de referência para determinar a capacidade de campo em cada sensor e, assim, calibrar as medições em função deste valor.

Deve ter-se em conta que cada sensor está num ambiente diferente (presença de pedras, raízes, textura do solo, compacidade...) e que um mesmo valor em sensores diferentes não indica um mesmo estado de humidade do solo. Por isso, é recomendável calibrar cada sensor pelo seu valor de referência.

A empresa instaladora fornecer-nos-á a informação necessária para a consulta dos dados, como as localizações, as credenciais para consultar os dados na web ou na plataforma e os restantes detalhes necessários.

5.4. Plataformas e acesso aos dados

Uma vez concluída a instalação e com acesso à plataforma, poderemos visualizar toda a informação fornecida pelos sensores. Geralmente, isto inclui um mapa com a localização dos sensores dentro das parcelas (em muitos casos editável), a lista de pontos de controlo registados e, o mais importante, um visualizador com os gráficos de humidade do solo correspondentes a cada sensor ou ponto de controlo. Numa secção posterior explica-se em detalhe como interpretar estes gráficos e como utilizá-los para ajustar a programação da rega de forma mais eficiente.

Ao nível do serviço, o habitual é manter uma quota anual com a empresa fornecedora, uma vez que esta cobre geralmente o envio e o armazenamento dos dados, bem como o acesso à plataforma do fornecedor.

5.5. Manutenção

O esforço de manutenção que um ponto de controlo exige ao regante costuma ser baixo. Normalmente limita-se a substituir as baterias caso se esgotem e a ter cuidado com os trabalhos de campo que possam afetar os equipamentos. A vantagem de ter um contrato de adesão com a empresa fornecedora dos equipamentos e do serviço do visualizador é que, em alguns casos, esta se encarrega da manutenção mínima e da resolução de incidências não forçadas. Convém prever, no entanto, a presença de animais selvagens que possam danificar os equipamentos, especialmente a cablagem, e os trabalhos que possam projetar alguma pedra (p. ex. corta-relvas ou gadanhairas) e proteger os equipamentos para esse efeito.

5.6. Benefícios dos sensores de humidade do solo

Seja qual for a origem da água que chega ao solo (chuva, rega, etc.), as sondas fornecem um valor representativo e praticamente em tempo real do estado da humidade do solo, do movimento da frente húmida, da perda de água por percolação profunda, das dinâmicas de humedecimento e secagem do bolbo húmido...num ponto representativo da parcela. É comparável a dispor de uma radiografia do solo a diferentes profundidades, que permite estudar o comportamento do perfil hídrico durante a rega. Estes sistemas oferecem uma grande quantidade de informação, o que facilita uma análise detalhada para uma gestão adequada do recurso hídrico.

6. Interpretação dos dados para a condução da rega

A interpretação mais fácil da informação faz-se a partir da representação gráfica da evolução dos sensores em períodos de uma ou duas semanas, obtendo-se gráficos semelhantes ao da Figura 9.

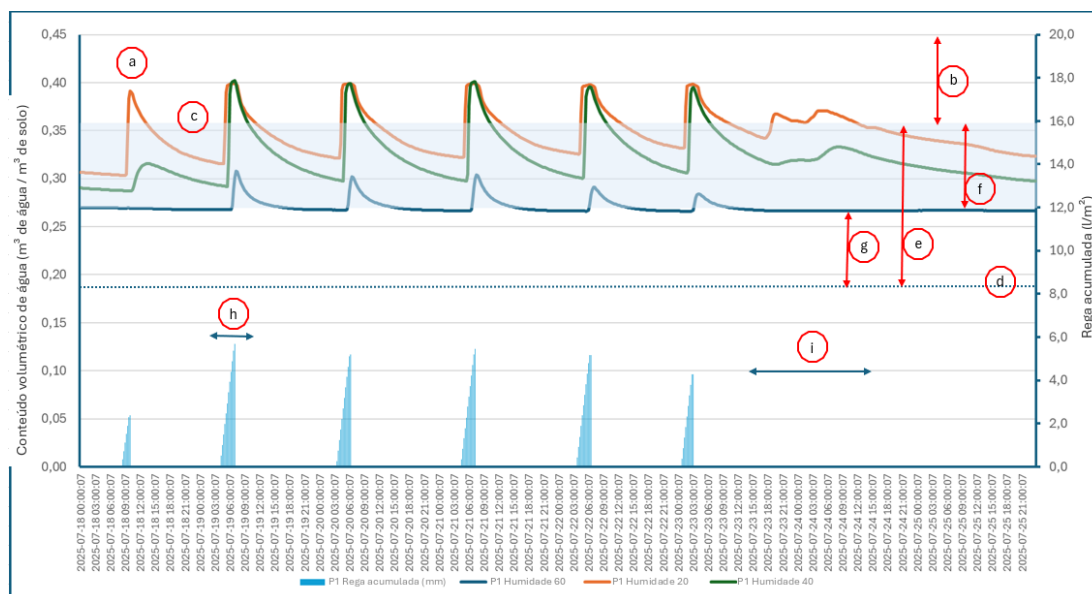


Figura 9.- Gráfico tipo elaborado a partir da informação de sensores de humidade do solo (eixo esquerdo), colocados a 20, 40 e 60cm de profundidade numa cultura lenhosa intensiva regada gota a gota, com contador volumétrico da água de rega (eixo direito).

6.1. Conceitos prévios

Descrevem-se de seguida os aspetos mais relevantes para a interpretação dos dados dos sensores contidos na Figura 9 e em algumas figuras auxiliares.

(Figura 9a) FRENTE HÚMIDA. Após uma chuva (i.-) ou uma rega (j.-) os sensores costumam responder aumentando significativamente (quase numa linha vertical) o seu valor até atingirem um pico. Isso significa que detetaram a frente húmida, ou seja, o movimento repentino de água no solo devido a um evento de humedecimento. Um padrão típico é que os sensores mais próximos do gotejador (tanto na vertical como na horizontal) detetem a frente húmida antes dos mais afastados.

(Figura 9b) ZONA DE SATURAÇÃO. Após um evento de humedecimento, o valor de pico dos sensores causado pela chegada de uma frente de humedecimento desce rapidamente (declive muito negativo da curva do sensor). Na ausência de uma cultura ativa (fora da campanha ou durante a noite), praticamente toda a diminuição de água deve-se ao movimento vertical da água ou drenagem. A área entre a frente húmida e a estabilização da curva da leitura do sensor (quando o declive começa a tender para zero designa-se por zona de saturação.

(Figura 9c) CAPACIDADE DE CAMPO (CC). Quando efetuamos uma rega ou ocorre uma chuva abundante na ausência de uma cultura ativa, quando a leitura do sensor começa a estabilizar (declive a tender para 0) um ou dois dias após o evento de humedecimento (desde que o solo tenha ficado saturado), pode considerar-se que o solo retém toda a água disponível (Figura 10). Este ponto designa-se por capacidade de campo do sensor, é utilizado como valor de referência de solo “cheio” e é muito importante na tomada de decisões de rega. Alternativamente, quando há cultura, utiliza-se geralmente o ponto de inflexão entre dois declives da curva do sensor para determinar o ponto de CC (Figura 11).

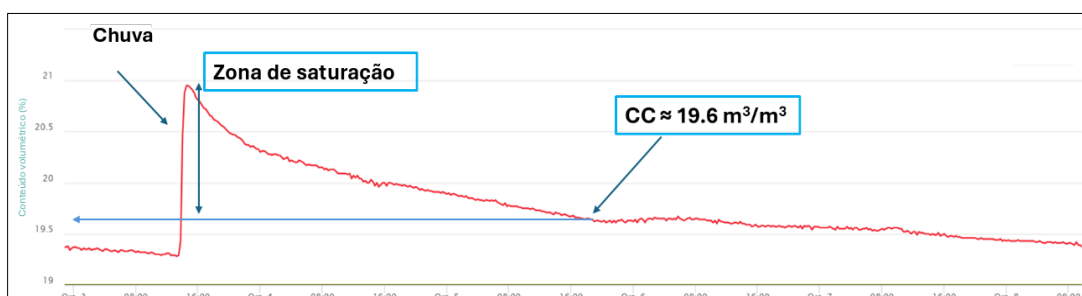


Figura 10.- Determinação dos pontos de capacidade de campo dos sensores através do método de saturação do solo.

(Figura 9d) COEFICIENTE DE EMURCHECIMENTO PERMANENTE (CEP). Define-se como o ponto mínimo de humidade no solo de que a planta necessita para não murchar. Se a humidade da água que temos no solo diminuir até este ponto ou abaixo dele, e não revertermos a situação, a planta não poderá recuperar a turgescência porque não conseguirá

absorver água do solo. Este ponto é geralmente estimado em função da textura do solo e em relação à capacidade de campo do próprio sensor. No caso da figura 9, considera-se um valor de CEP de $0.27 \text{ m}^3/\text{m}^3$ para todos os sensores. Não é desejável aproximar-se do CEP.

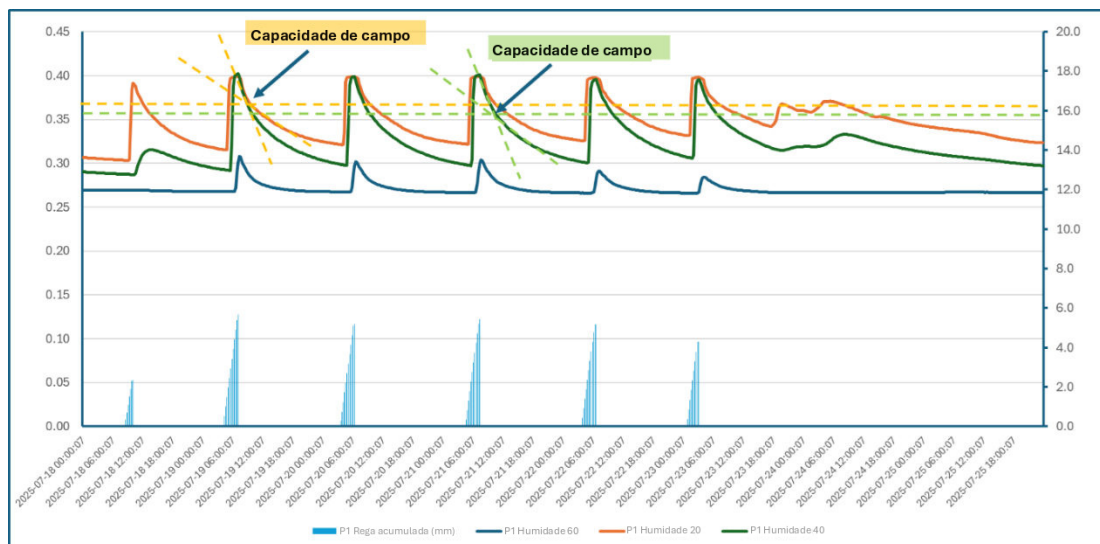


Figura 11.- Determinação dos pontos de capacidade de campo dos sensores colocados a 20 e a 40 de profundidade numa cultura lenhosa intensiva regada gota a gota, com contador volumétrico da água de rega (eixo direito).

(Figura 9e) ÁGUA DISPONÍVEL (ADP). É a diferença entre o ponto de Capacidade de Campo (CC) e o Coeficiente de Emurchecimento Permanente (CEP).

(Figura 9f) ÁGUA FACILMENTE APROVEITÁVEL. (AFA). É o teor de água no solo com o qual as culturas não entram em zona de stress hídrico. Define-se como a diferença entre o ponto de CC do sensor e o ponto em que a água deixa de ser facilmente aproveitada pela cultura, ou seja, passa a exigir-lhe um esforço. Este ponto depende das características de cada cultura, como a profundidade explorável pelas raízes e a capacidade de absorção de água, e das necessidades hídricas da atmosfera. É um conceito empírico que costuma ir desde 50% da ADT esgotada em culturas sensíveis ao stress, como a macieira, até 65 % da água disponível esgotada em culturas resistentes, como a oliveira, para uma ETo de 5 mm. No caso da figura 9, considera-se um limiar de stress de 50% da água disponível.

Quadro 4.- Fração de esgotamento da água disponível no solo para condições sem stress hídrico (FAO, 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Estudio FAO Riego y drenaje* 56).

Cultura	Fração de esgotamento	Cultura	Fração de esgotamento
Alface	0.30	Batata	0.35
Amendoeira	0.40	Girassol	0.45
Melão	0.45	Lentilhas	0.50
Macieira	0.50	Citrinos	0.50
Cevada / Trigo	0.55	Milho	0.55
Luzerna	0.55	Oliveira	0.65

(Figura 9g) ÁGUA DIFICILMENTE APROVEITÁVEL (ADA). É a água que está disponível para a planta, mas cuja absorção implica entrar em zona de stress hídrico. Define-se como a diferença de água restante entre a ADT e a AFA acima do CEP.

ZONA DE CONFORTO (trama azul). Define-se como aquela que o regante assume como não stressante e sem risco de a cultura entrar em stress hídrico. É, portanto, uma área entre o ponto de CC e um ponto arbitrário mas seguro (decidido pelo técnico ou pelo regante). Através da rega, procurar-se-á não ficar abaixo da zona de conforto. Distingue-se da AFA por ser uma decisão do regante, embora por vezes possa coincidir. Para algumas culturas muito sensíveis ao stress, assume-se por vezes o ponto inferior da zona de conforto como 90-80% do ponto de CC.

(Figura 9h) REGA. Efeitos da rega sobre os sensores de humidade do solo colocados a 20, 40 e 60 cm de profundidade. A frente de humidade atinge primeiro o sensor localizado a 20 cm de profundidade e, pouco depois, o de 40 cm, mostrando ambos uma resposta semelhante. Em contrapartida, a frente húmida chega em menor medida ao sensor de 60 cm, o que é desejável para minimizar a drenagem profunda e evitar perdas de água.

(Figura 9i) CHUVA. Efeitos da precipitação sobre os sensores de humidade instalados. A precipitação efetiva tem influência sobre os sensores de 20 e 40 cm de profundidade, enquanto a sua frente húmida não tem influência sobre o sensor colocado a 60 cm, pelo que não há drenagem. A evolução dos sensores que reflete as extrações de água pela cultura apresenta um declive bastante menor em comparação com os aportes hídricos provenientes da rega.

ABSORÇÃO PELA PLANTA. Durante as horas noturnas pode assumir-se que a planta não transpira, pelo que uma descida de água detetada pelo sensor se atribui ao movimento vertical da água. Pelo contrário, durante o dia, se a leitura do sensor estiver abaixo da CC, uma

redução do teor de água no solo pode ser atribuída à evapotranspiração da cultura. Esta informação é valiosa para determinar a zona de absorção radicular ou até estimar o padrão diário de consumo de água da cultura. Como exemplo, na figura 11 observa-se como a máxima absorção de água se realiza aos 20 e 40 cm de profundidade.

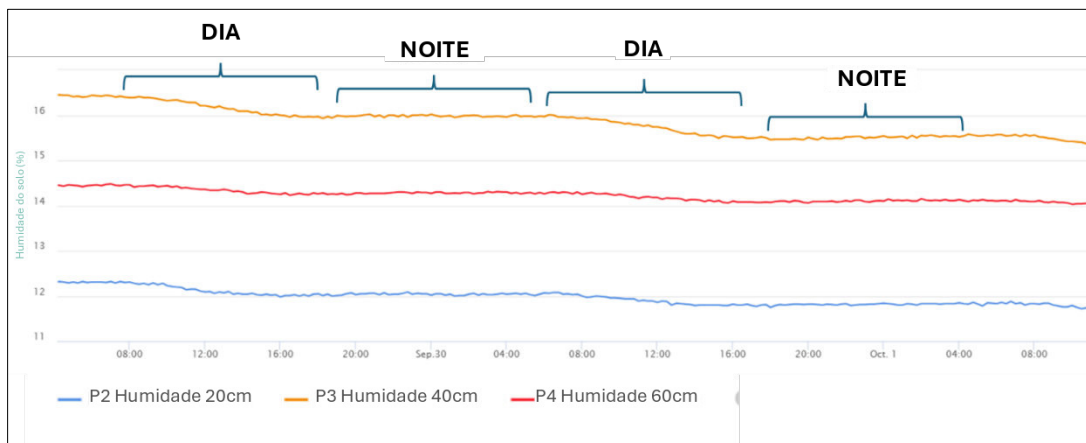


Figura 11.- Padrão típico de absorção radicular de água pela cultura detetado pelos sensores.

Para efeitos práticos, é mais recomendável não usar os dados diretamente dos sensores (m^3/m^3), mas sim em percentagem de água disponível para as plantas (ADP). Cada sensor tem um ambiente (pedras, raízes, porosidade...) que condiciona os valores medidos. Para uma melhor interpretação, os dados são relativizados em relação à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento e o resultado é apresentado sob a forma de % da água disponível total. Na figura 12 podem observar-se dados relativizados com um critério de zona de conforto de 60 % da ADT. É importante o apoio de um técnico especialista para relativizar os dados.

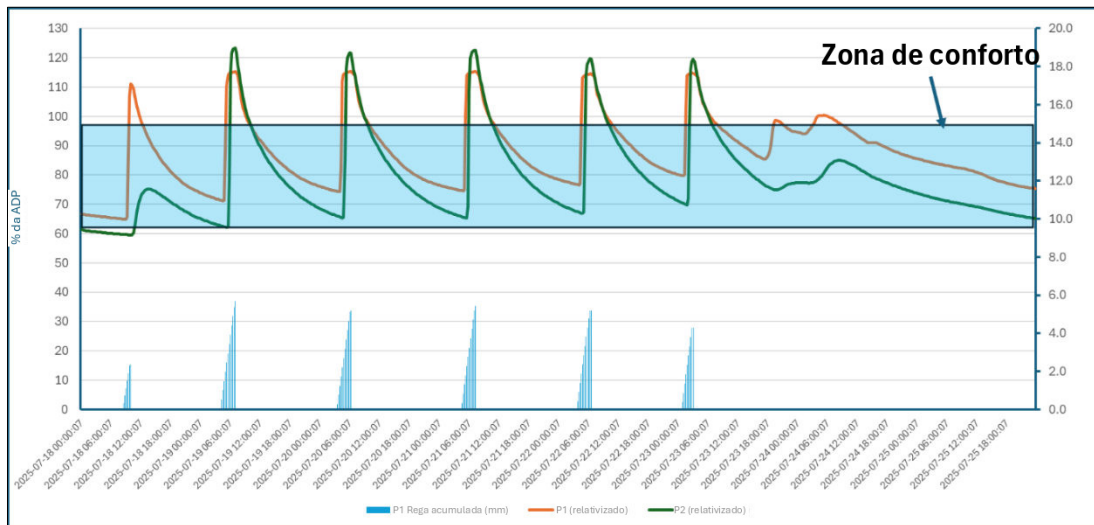


Figura 12.- Valores relativizados em relação à CC e ao CEP para os sensores colocados a 20 e a 40 de profundidade numa cultura lenhosa intensiva regada gota a gota, com contador volumétrico da água de rega (eixo direito).

6.2. Como regar

Durante as horas diurnas, uma cultura ativa transpira, ou seja, absorve água líquida do solo através das raízes e mobiliza-a até às folhas para ser evaporada. Por conseguinte, provoca uma descida da humidade no solo detetada pelos sensores, tal como se observa entre as regas do gráfico. Se esta descida for detetada abaixo do ponto de CC e sem eventos de humedecimento (rega ou chuva), pode assumir-se que a totalidade da redução do teor volumétrico de água no solo se deve à utilização pela cultura.

O objetivo da rega baseada em sensores de humidade do solo é manter o sensor representativo da máxima densidade radicular da cultura dentro da zona de conforto hídrico. Para isso, procura-se que o sensor instalado a maior profundidade não esteja próximo da zona de saturação.

Se se regar mais do que a cultura consegue absorver ou o solo consegue armazenar (o que pode variar em função da textura, da porosidade e do teor de matéria orgânica do solo), os sensores indicarão que se está em zona de saturação e, portanto, a água move-se verticalmente. Numa configuração de sensores na vertical, instalar um sensor imediatamente abaixo da profundidade de enraizamento da cultura pode dar informação sobre perdas por percolação profunda. Quando esse sensor se encontra em zona de saturação, toda essa água se perde para fora da zona radicular, o que indica um excesso de água, no caso de um evento de rega.

Em caso de chuvas abundantes, a perda por percolação profunda pode ser inevitável e a sua deteção indica que todo o perfil estará à capacidade de campo assim que a curva dos sensores estabilizar. Em caso de utilização de águas com alguma salinidade ou de trabalho em solos com problemas de salinidade, é desejável uma drenagem de lavagem. Em caso de utilização de fertilizantes químicos e/ou fertirrigação, a percolação profunda implica também uma perda de fertilizante.

O objetivo da rega é fornecer a água suficiente para manter a humidade do solo dentro da zona de conforto, evitando a percolação profunda (excesso de rega) e o stress hídrico (défice de rega). Para isso, habitualmente tem-se em conta a leitura da sonda situada na zona de maior absorção radicular, que habitualmente é a intermédia (p. ex. 40 cm para a cultura lenhosa intensiva da Figura 9).

Uma exceção com complexidade acrescida são as regas deficitárias controladas. Nas fases de déficit hídrico controlado trabalha-se abaixo da zona de conforto, estabelecendo um limiar de déficit máximo consoante a cultura (por exemplo, reduzir 20 % da ADA). No entanto, para o uso deste tipo de estratégias, é altamente recomendável usar medições do estado energético da água no solo (potencial hídrico) ou medições diretas de indicadores de stress hídrico na planta e contar com o aconselhamento de técnicos especialistas.

Mesmo que não efetuemos nenhuma rega, a precipitação pode ajudar-nos e fornecer água à cultura, embora a chuva seja um fator com grande variabilidade espacial. Para isso, é muito recomendável registar os dados manualmente ou ter um udómetro ligado ao datalogger da exploração. Sem nenhum destes dados poderemos visualizar a subida dos sensores (com maior ou menor intensidade em função da chuva) sem registar nenhuma rega, mas não será possível quantificá-la.

7. Resumo

O presente documento faz parte da documentação do programa de formação para regantes do projeto *Smart Green Water*, destinado a formar os regantes na tecnologia digital de utilização de sensores capacitivos de medição da água no solo para a programação da rega na parcela.

Inclui a descrição dos fundamentos agronómicos da água utilizável para a rega das culturas, dos diferentes equipamentos e componentes existentes no mercado para a medição do teor volumétrico de água, dos principais critérios e aspetos a ter em conta na instalação no campo e da interpretação gráfica dos dados para conduzir a rega na parcela.