

Tecnologias digitais para planos de contingência em caso de seca.



Programa de formação para regantes

Informações do entregável

Número do entregável	E.2.2.2
Data de entrega prevista	
Data de entrega efetiva	15/09/2026
Líder do projeto	IRTA

Autores		
Nome	Apelido/s	Entidade
Francesc	Camps	IRTA
Jordi	Oliver	IRTA

Tecnologias digitais para planos de contingência em caso de seca.	1
1. Introdução.....	3
2. Planos de contingência para a seca.....	4
3. Tecnologias digitais para planos de contingência em caso de seca.....	6
3.1.- Digitalização da gestão da infraestrutura.....	7
3.2.- Digitalização da informação.	10
4. Resumo.....	18

I. Introdução

A seca é um fenómeno recorrente que não é específico de nenhum tipo particular de clima. Ocorre em todos os continentes e pode variar em intensidade, duração e escala espacial. As secas começam com um défice de precipitação e, se este défice persistir, as secas progridem para os solos, rios, aquíferos e albufeiras. Por fim, todo o ciclo da água é alterado e o uso da água, tanto o natural como o induzido pelas atividades humanas, é afetado. Por outro lado, a gravidade da seca depende também das necessidades de água para as atividades humanas e da vegetação, tanto espontânea como cultivada, que têm um grande impacto no balanço hídrico. O impacto e a gravidade de uma seca dependem do nível de vulnerabilidade dos sistemas afetados, uma vez que os impactos serão percebidos de forma diferente consoante a pertença a grupos sociais e a diferentes setores, mesmo dentro do mesmo episódio de seca. A seca distingue-se da aridez pela sua limitação temporal e distingue-se da escassez de água por ser um fenómeno exclusivamente natural.

A gestão dos riscos associados à seca é complexa, uma vez que envolve múltiplos setores, escalas e horizontes temporais. Isto exige, a nível territorial, a participação coordenada de instituições e atores diversos, como ministérios, autoridades locais, setor privado, centros tecnológicos e de investigação e grupos vulneráveis, em aspetos como a preparação, o acompanhamento, o alerta precoce, a mitigação e a avaliação. A transição de uma gestão reativa para uma gestão proativa implica redesenhar os quadros institucionais para antecipar, em vez de responder apenas às crises.

Um plano de contingência é um conjunto de procedimentos alternativos e medidas preventivas com o objetivo de assegurar a continuidade operacional e proteger os recursos de uma organização face a eventos adversos ou emergências. Na rega agrícola, tanto de forma coletiva (associações de regantes, coletividades, ...) como de forma individual (exploração, parcela, ...), a falta de disponibilidade de água causa um menor impacto económico se puder ser prevista. A sua previsão permite reorganizar a rega em função da disponibilidade de água, das diferentes fases fenológicas da cultura e da sua sensibilidade ao défice hídrico, de modo a reduzir o impacto sobre a produção. Deve contemplar tanto medidas estratégicas como medidas pontuais.

2. Planos de contingência para a seca.

Os planos de seca, a nível territorial, são um instrumento de gestão elaborado pelas administrações hidráulicas com o objetivo de prevenir, gerir os recursos hídricos disponíveis e mitigar os efeitos das situações de seca. Estes planos territoriais estão já definidos na Diretiva-Quadro da Água da UE.

Para além destes planos territoriais, em Espanha, e em função da região hidrográfica (demarcación hidrográfica), só é obrigatória a elaboração de planos de seca para os sistemas de abastecimento urbano de circunscrições com mais de 20.000 habitantes. Em qualquer caso, o planeamento perante cenários adversos é a forma mais inteligente de enfrentar os novos desafios, pelo que, em situações de falta de disponibilidade de água, que serão cada vez mais frequentes, é indispensável planear a forma de enfrentar estas situações em vez de improvisar.

Por isso, as associações de regantes devem ter estes documentos elaborados e aprovados pelas suas assembleias gerais para manter a coesão e a disciplina na gestão da água, com o objetivo de causar o menor impacto económico ao coletivo de agricultores-regantes. O plano de contingência para a seca de uma associação de regantes deve ser desenvolvido a partir das especificações previstas no plano de seca da região hidrográfica e transpor as suas restrições para dentro da associação com conhecimento, critério e transparência, procurando uma repartição equitativa e eficiente da água em função das condicionantes das infraestruturas da associação.

Para tal, é necessário dispor de um acompanhamento dos indicadores de seca utilizados pelo plano da região hidrográfica com antecedência suficiente para prever a sua ativação durante a campanha de rega.

A transparência na gestão das situações de escassez de água deve ser um requisito indispensável, pelo que é necessária a medição e o controlo dos consumos para garantir a equidade com base nos critérios que, em situação de normalidade, a associação definiu no seu plano de seca.

É evidente que, para enfrentar situações de seca e aumentar a eficiência do uso da água em situações de escassez, é importante fazê-lo com conhecimento, precisão e rapidez. Para tal, é indispensável dispor de instalações de rega modernizadas (rede de distribuição de água sob

pressão para poder utilizar sistemas de rega gota a gota ou por aspersão) e de um conhecimento perfeito das mesmas.

3. Tecnologias digitais para planos de contingência em caso de seca.

Para gerir com eficácia as restrições de água em caso de seca numa zona de regadio, é necessário dispor de informação fidedigna, atualizada e completa para tomar rapidamente a melhor decisão em cada momento. Neste sentido, os sistemas de informação geográfica (SIG) permitem representar a informação distribuída por um território geográfico.

Um sistema de informação geográfica (SIG) é um sistema informático capaz de integrar, armazenar, editar, analisar, partilhar e representar informação com referências geográficas. De forma mais genérica, trata-se de uma ferramenta a partir da qual os utilizadores podem realizar consultas interativas (pesquisas definidas pelo utilizador), analisar a informação espacial e editar os seus dados. Qualquer objeto de um SIG é descrito pela sua localização e disposição na superfície terrestre através de coordenadas geográficas e da respetiva informação alfanumérica associada.

Para as associações de regantes, o sistema de informação geográfica deve contemplar, no mínimo, a seguinte informação:

1. Recenseamento de utilizadores e parcelas do perímetro da área regada.
2. Infraestrutura de captação e distribuição da associação.
3. Gestão da rega, com a possibilidade de efetuar pedidos e gerir os turnos de rega.
4. Planos de culturas.
5. Controlo de quotas ou dotações

De uma forma ou de outra, estes sistemas de gestão da informação precisam de estar permanentemente atualizados com informação verídica e quantificável, pelo que a sua ligação à informação digital de sensores no território e de sensores de deteção remota, com a frequência de leitura adequada, é indispensável.

Se esta informação georreferenciada for atualizada periodicamente e a tomada de decisões seguir uma lógica, é possível desenvolver um sistema SCADA (combinação de hardware e software que permite supervisionar, controlar e automatizar processos) com PLC (controladores

lógicos programáveis) e tomar decisões de gestão automáticas. Este sistema é habitual em processos industriais. É mais difícil implementá-lo em sistemas em que os componentes e as apreciações das pessoas influenciam os processos e, além disso, quando estes mudam ao longo do tempo.

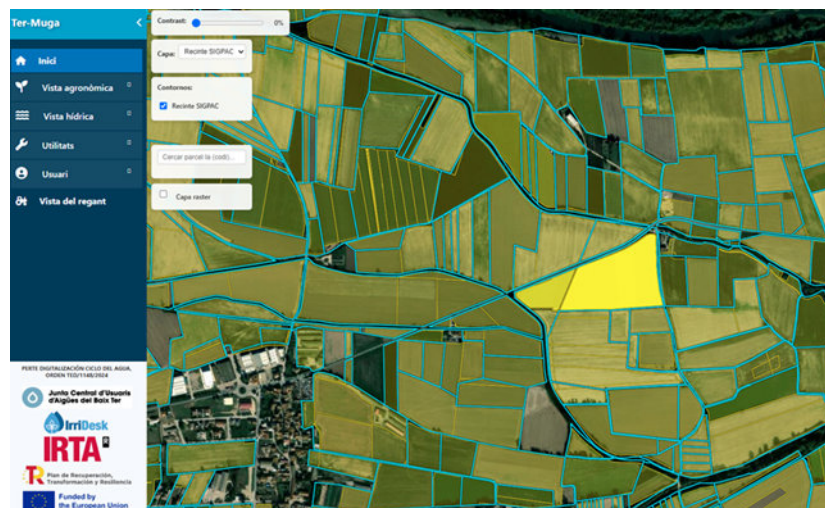


Figura 1.- Sistema de Informação Geográfica, com recenseamento de utilizadores e parcelas, infraestrutura da associação de regantes e planos de culturas.

3.1.- Digitalização da gestão da infraestrutura.

3.1.1. Controlo do volume e da pressão da água.

O volume de água, tanto na captação inicial como nos diferentes troços de distribuição, no retorno ao meio natural e na sua entrega final a cada utilizador, deve poder ser quantificado. A quantificação da captação inicial é obrigatória nas disposições legais do espaço SUDOE. Habitualmente, este controlo é realizado através de contadores. Os mais comuns são:

Eletromagnéticos: baseiam-se na lei da indução eletromagnética de Faraday, segundo a qual, quando um fluido condutor atravessa um campo magnético gerado pelo contador, produz-se uma tensão elétrica diretamente proporcional à velocidade do fluido.

Ultrassónicos: O dispositivo emite impulsos ultrassónicos alternadamente a favor e contra a corrente de água, e um contador de impulsos calcula a diferença exata de tempo entre os dois trajetos. Essa variação permite determinar com absoluta precisão a velocidade e o caudal real da água

A gestão da pressão nas condutas é realizada através de manómetros digitais, transdutores de pressão (convertem a pressão num sinal elétrico) ou pressostatos (quando é atingido um nível de pressão predeterminado, ativam ou desativam um circuito elétrico).



Figuras: (2) Contadores ultrassónicos. (3) Contador eletromagnético. (4) Transdutor de pressão de extensómetro.

3.1.2. Controlo da qualidade da água.

Caso se utilizem águas provenientes de Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas ou de aquíferos subterrâneos próximos do mar e sujeitos a intrusão salina, é aconselhável instalar sensores de condutividade para poder tomar decisões caso a concentração de sais possa prejudicar as culturas a regar.

Estes sensores medem a capacidade da água para conduzir eletricidade, calculando de forma direta e sistemática a concentração de sais dissolvidos e ajustando automaticamente o valor da leitura às variações térmicas da água.

Atualmente, dispõe-se também de sistemas de medição contínua de iões (Cl^- ; Na^+ ; NO_3^- ; Br^- ; NH_4^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ ; etc.) nas águas de rega, caso a sua implementação seja necessária.



Figura 5. Exemplo de medidor da qualidade da água de rega.

3.1.3.- Controlo do nível de reservatórios de rega ou de águas subterrâneas.

Os regantes que têm acesso direto a reservas de água à superfície (reservatórios de rega) precisam de medir o nível de água no reservatório para poderem tomar decisões acertadas e prever cenários. Neste caso, habitualmente são instrumentados com sensores de nível. Existem diversos tipos de sensores para determinar a que altura se encontra um reservatório. Os mais comuns são: sonda de pressão hidrostática, sonda radar e sonda ultrassónica.

O controlo dos níveis freáticos, no caso da exploração de um aquífero, é feito com uma sonda de pressão hidrostática instalada num piezómetro ou poço. A sonda é introduzida de forma permanente e mede a pressão exercida pela coluna de água situada acima do sensor, que é proporcional à sua altura. O cabo inclui um pequeno tubo capilar que permite subtrair automaticamente a pressão atmosférica exterior e garantir que apenas é medida a pressão da água.



Figuras 6: Tipos de sensores para controlar o nível de água de um reservatório: (esquerda) Sonda de pressão hidrostática, (centro) Sonda radar, (direita) Sonda ultrassônica. Figura 7: Sensor de pressão hidrostática, datalogger e sistema de transmissão de dados para instalar dentro do piezômetro.

3.2.- Digitalização da informação.

Para enfrentar os desafios da distribuição de água em situações de escassez, é necessário dispor de informação exata e precisa sobre as previsões de culturas nas diferentes parcelas. Assim, pode depois desenvolver-se a previsão das suas necessidades hídricas, que podem ser corrigidas com informação de uma rede de sensores de medição da água no solo disponível para as culturas e corroboradas com deteção remota por satélite de acesso livre e modelação do sistema. Atualmente, o desenvolvimento de tecnologias como os gémeos digitais permite integrar toda a informação digital (sensores, deteção remota e modelos) em tempo real com um processamento automático e simular diferentes cenários que sirvam de guia para a decisão imediata e futura. Embora existam tecnologias muito avançadas e em permanente desenvolvimento que facilitam e afinam o diagnóstico, é necessário salientar que a utilização dessas tecnologias exige pessoal

tecnicamente muito competente no âmbito do regadio moderno para que sejam eficazes, efetivas e resolutivas.

3.2.1. Inventário de parcelas e culturas.

Se dispor de informação sobre as previsões das culturas a instalar nas diferentes parcelas já é útil em situações de normalidade, é indispensável dispor desta informação em situações de escassez, para poder distribuir a água de acordo com o Plano de gestão da seca aprovado pela Associação.

Esta informação pode ser obtida através de uma declaração do regante e implementada digitalmente no próprio sistema de informação geográfica da Associação. Posteriormente, pode ser verificada com deteção remota. Nas culturas herbáceas, as ferramentas de deteção remota identificam as culturas com precisão logo que estas cobrem uma superfície superior a 20%

Dispor desta informação permite aos técnicos da Associação de Regantes conceber uma repartição da água a partir dos seguintes critérios:

- a) Prioridade à sobrevivência das culturas lenhosas plurianuais, tal como determinam alguns Planos de Seca das confederações hidrográficas (Confederaciones Hidrográficas), estimada em 35 % das necessidades produtivas.
- b) Quantificação da superfície com culturas de regadio e determinação do volume por superfície de solo passível de repartição, depois de descontada a eficiência do transporte e da distribuição da água nas infraestruturas comuns.

3.2.2. Estimativa das necessidades de rega. Programação da rega.

O cálculo do balanço hídrico de um solo baseia-se na estimativa da diferença entre as entradas de água no sistema (rega e chuva) e as saídas de água (basicamente evapotranspiração da cultura, ETc), percolação profunda e escoamento superficial).

A ETc é determinada através do produto da evapotranspiração de referência (ETo) por um coeficiente cultural (kc). A ETo é um conceito que inclui a informação climática e as características de uma cultura de relva bem hidratada com 10 cm de altura e outros parâmetros constantes que permitem determinar a água transpirada por essa relva e evaporada do solo. Em muitos locais, a ETo pode ser descarregada diretamente de estações meteorológicas públicas. Os

kc são coeficientes empíricos específicos de cada cultura (kc), amplamente estudados, que convertem a ETo em ETc da cultura. Existem diversas publicações com tabelas de kc para diferentes culturas, como as monografias FAO-56 e FAO-66.

Esta informação pode ser concretizada de acordo com as características de cada exploração (estação meteorológica de referência, dados e ciclos fenológicos das culturas, tipo de rega) mediante uma subscrição gratuita, recebendo semanalmente as recomendações de rega no sistema de comunicação escolhido, depois de definidas as características da parcela segundo o seguinte esquema:



Figura 8: Esquema concetual para a elaboração da informação de programação da rega

Para mais informação: <https://www.fao.org/4/xo490s/xo490s01.pdf>

3.2.3 Sensores de medição da água no solo

Os sensores de humidade do solo medem a humidade do solo em tempo real, permitindo ajustes precisos na rega para evitar o excesso ou a falta de água. A partir das leituras automatizadas destes sensores e da sua análise, é possível manter a água do solo disponível para as raízes da cultura entre limites que permitem reduzir drasticamente as perdas de água (drenagem, escoamento, evaporação, ...) e, com isso, aumentar a eficiência, otimizando a produção. Estes limites dependem principalmente do tipo de cultura, do estado de desenvolvimento e crescimento da cultura, das características do solo e da capacidade evaporativa do ambiente.



A evolução das leituras dos sensores a diferentes profundidades permite analisar o movimento vertical da água no solo, minimizando as perdas de água por drenagem, enquanto uma configuração horizontal de sensores permite analisar a variabilidade espacial da humidade no solo, especialmente útil em sistemas de rega localizada.

Figura 9: Colocação no solo de sensores de humidade integrados num mesmo instrumento, numa cultura hortícola.

Uma boa análise dos sensores de humidade do solo permite repor a água transpirada nos dias ou horas anteriores dentro de uma faixa hídrica de conforto, que geralmente se situa entre a capacidade de campo e a percentagem da fração de esgotamento admissível da água do solo sem afetar a produção da cultura.

É evidente que estes sistemas de programação da rega se adequam mais aos sistemas de rega sob pressão (aspersão, gota a gota, microaspersão, ...) do que à rega por superfície, uma vez que permitem repor a água consumida pela cultura com uma frequência elevada e, consequentemente, evitar as perdas de água habituais que costumam ocorrer na rega por superfície.

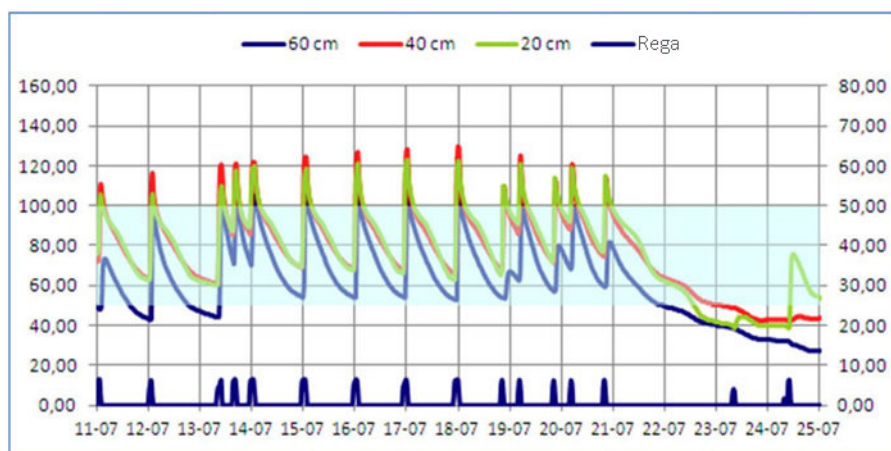


Figura 10: Evolução do teor de água a três profundidades do solo (20,40 e 60 cm) em percentagem da reserva de água facilmente utilizável por uma cultura de macieiras e dotações de rega localizada aplicadas.

Para mais informação: <https://interreg-sudoe.eu/proyecto-interreg/smart-green-water/>.

3.2.4 Detecção remota. modelação de culturas e gémeos digitais.

A deteção remota é uma ferramenta que permite obter informação sobre objetos situados na superfície terrestre sem necessidade de contacto físico direto. Isto é feito através da deteção e do registo da energia que os objetos refletem ou emitem, utilizando sensores especializados.

A deteção remota pode ser passiva ou ativa, consoante a radiação captada seja natural (luz visível ou as bandas do infravermelho refletido e térmico) ou seja emitida pelo sensor e posteriormente refletida pelos objetos (radar, laser).

A deteção remota vai desde sensores instalados na parcela, com grande resolução temporal e grande precisão, mas com uma escala de superfície muito reduzida e custo elevado, passando por câmaras espectrais instaladas em drones ou avionetas, com alta resolução e precisão e uma escala de superfície ótima ao nível da parcela, mas com custo elevado, até à utilização de imagens de satélite de baixa resolução espaciotemporal, mas com capacidade para analisar grandes superfícies e de custo baixo ou nulo.

A deteção remota está em contínuo avanço e progressão e, hoje em dia, permite determinar, com uma precisão que depende da resolução espaciotemporal do sistema utilizado e com um grau de maturidade tecnológica elevado, parâmetros como a cultura instalada em cada parcela, o vigor

ou os parâmetros biofísicos das culturas, se está ou não a ser regada, estimar a evapotranspiração da cultura ou fornecer informação sobre o estado hídrico das culturas.

Estas determinações são realizadas através da análise de imagens que medem a radiação refletida ou absorvida pelas culturas em diferentes faixas do espectro, tanto visível como infravermelho próximo ou térmico. Por exemplo, a evapotranspiração das culturas é estimada através da utilização da faixa do infravermelho térmico, que permite estimar o balanço energético.

Essa medida pode ser utilizada para repor, através da rega, o volume evapotranspirado numa parcela. Atualmente, a deteção remota permite estimar com alguma precisão a água evapotranspirada em amplos territórios, como toda uma associação de regantes, e realizar um acompanhamento automatizado e periódico das superfícies regadas, das superfícies cultivadas e dos consumos totais de água ou das zonas com tendência para o stress hídrico.

A deteção remota, além de ser utilizada diretamente, pode ser uma fonte de dados robusta e de baixo custo para a calibração e validação da modelação contínua dos parâmetros biofísicos e da procura hídrica das culturas, permitindo ajustar o balanço hídrico tanto de parcelas agrícolas, o que possibilita uma recomendação de rega ajustada, como de grandes sistemas, o que permite ajustar com grande exatidão a água que deve ser libertada em alta.

Os gémeos digitais para a rega representam uma réplica virtual exata de um sistema de rega, do solo, do clima e das culturas numa exploração agrícola. Esta tecnologia, alimentada por dados em tempo real através de dispositivos da Internet das Coisas (IoT), permite aos agricultores e gestores simular, prever e otimizar o uso da água antes de tomarem qualquer decisão física no terreno.

O sistema é composto por três camadas principais que funcionam em ciclo contínuo:

Recolha de dados no campo: Sensores distribuídos pela parcela medem constantemente a humidade e a salinidade do solo a diferentes profundidades, o caudal e a pressão nas condutas. Isto é complementado com estações meteorológicas locais e imagens de satélite (como a evapotranspiração ou o vigor da cultura).

Processamento e simulação virtual: A réplica digital recebe estes dados em tempo real. Utilizando algoritmos de inteligência artificial e modelos agronómicos, prevê como a cultura e o solo irão reagir nos próximos dias.

Automatização e controlo remoto: O gémeo digital não só analisa como pode enviar ordens de volta ao mundo físico, ativando ou desligando bombas, setores e eletroválvulas automaticamente ou através de uma aplicação móvel.

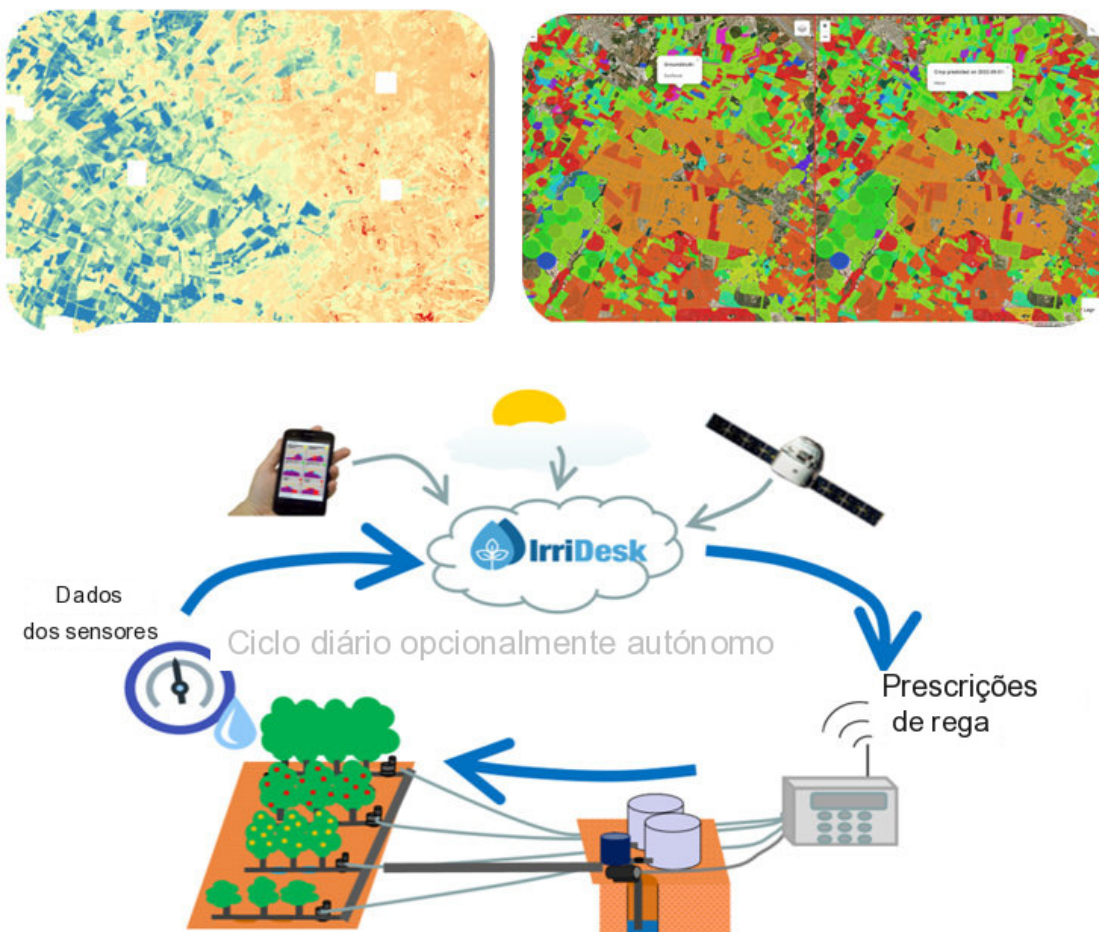


Figura 11: Esquema do funcionamento de um sistema de recomendações de rega em função da identificação de culturas, das previsões meteorológicas, da modelação de culturas e da informação de deteção remota por satélite, que alimenta um gémeo digital que dá instruções a um programador de rega.

Para mais informação:

Deteção remota: <https://www.mapa.gob.es/dam/jcr:8aba0f64-7fef-436d-9051-d2aac330d585/riegoyteledeteccionfernandodelacruz.pdf>

Gémeos digitais: <https://smartgreenwater.com/digital-twins/>

Modelação de culturas: <https://www.fao.org/aquacrop/en> (modelo AquaCrop da FAO)

4. Resumo

A estratégia territorial para enfrentar episódios de seca no regadio deve contemplar aspetos tanto de gestão (incluir as restrições nos regulamentos da associação e no processo de atribuição de água) como de dotação de infraestruturas e de formação adequada dos regantes e técnicos, para permitir e controlar repartições de água equitativas e transparentes em situações deficitárias.

Para tal, é necessário, em muitos casos, trabalhar para dispor de regadios modernizados, com água sob pressão para regar por aspersão ou gota a gota a um custo energético mínimo, e dotar-se coletivamente de instrumentos digitais para a determinação das necessidades, dos consumos e do controlo da água, tanto a nível coletivo como a nível da exploração agrícola.

As situações de défice nas dotações de rega geram em toda a cadeia de gestão da água de rega (desde a administração hidráulica até ao regante, passando pelos diferentes níveis da associação de regantes) situações de stress que, por vezes, podem ser muito conflituosas. Para que estas situações gerem o mínimo de tensão social, é necessário antecipá-las e realizar as formações, jornadas técnicas e debates aprofundados necessários para preparar os agricultores para superar estas situações.

A digitalização deve trazer transparência e eficácia à tomada de decisões em benefício do conjunto dos regantes, pelo que é necessário dispor e ter experiência de tecnologias digitais que captam variáveis físicas (estado da cultura, pressão nas condutas, caudais, ...) e as convertem em informação útil para o gestor da associação. O êxito da boa redação e execução de um plano de gestão da seca em associações de regantes depende de dispor de dados fiáveis, robustos e transparentes, para que os afetados possam confiar no correto cumprimento dos critérios do plano.

Atualmente, dispomos de sensores de campo, fiáveis e robustos, que nos permitem obter a informação necessária para implementar tecnologias digitais eficazes para gerir a rega e enfrentar os períodos de escassez com muito mais eficácia.