

**INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA SANTARÉM**

**CURSO DE MESTRADO
ENGENHARIA AGRONÓMICA**

Água na Agricultura
Um bem a preservar, um custo a rentabilizar
Auditoria a um sistema de rega.

José Nicolau Nobre Ferreira

SANTARÉM

2022

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM

ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA

CURSO DE MESTRADO ENGENHARIA AGRONÓMICA

Água na Agricultura
Um bem a preservar, um custo a rentabilizar
Auditoria a um sistema de rega.

Projeto realizado com vista à obtenção do
grau de Mestre em Engenharia Agronómica

Nome: José Nicolau Nobre Ferreira

Nº: 170300040

Orientador: Professor Doutor Manuel Mendes de Sousa Adaixo

Coorientador: Eng.º Paulo Jorge Malheiro Fragoso

SANTARÉM

2022

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças ao permanente acompanhamento que o meu coorientador, Eng.^o Paulo Fragoso, me prestou, em detrimento (com o inerente prejuízo) de horas de trabalho da sua muito atarefada vida profissional. Mas mais do que isso, tenho a obrigação de salientar a sua conduta face à inexistência de pluviómetros, o equipamento mínimo necessário para a execução deste trabalho, na Escola Superior Agrária, levando a que este docente adquirisse tal equipamento, a expensas da sua empresa (Hidrofluxo), e me o facultasse para a realização de medições pluviométricas.

Também tenho de salientar a disponibilidade do meu orientador, Professor Manuel Adaixo, para a realização de reuniões sobre a condução do trabalho, prestando uma colaboração interessada e incentivadora, na orientação técnica e científica da presente dissertação. Aos dois docentes manifesto o meu sincero reconhecimento.

Agradeço ainda à Professora Mafalda Dúlio a possível colaboração prestada na análise de solos, pois parte do equipamento necessário para o efeito, à sua disposição, se encontrava avariado há algum tempo.

Expresso também o meu agradecimento ao Senhor António José Carvalho, proprietário da Quinta da Cardiga, assim como ao seu colaborador, Senhor Fernando Nateiro, o primeiro por me ter facultado o acesso a uma cultura de milho efetuada na referida quinta, sobre a qual incidiu o trabalho, e o segundo por ter disponibilizado os dados disponíveis sobre a cultura e manobrado a rampa polar para a recolha de dados pluviométricos.

Por último, agradeço à minha “sócia” todo o companheirismo e solidariedade em mais esta caminhada, assim como toda a colaboração que me prestou ... e não só.

Resumo

A produção de alimentos e o uso de água estão intimamente relacionados, sendo este o principal fator que limita a produção agrícola em vastas zonas do globo (FAO, 2012). O setor agrícola é o maior consumidor de água doce, tanto à escala global como nacional (Selborne, 2002), e, segundo o PNA, é responsável por cerca de 75% do consumo deste recurso em Portugal.

Atualmente, em relação à temperatura do ar, verifica-se um aquecimento em todas as estações do ano, acompanhado de ondas de calor com maior duração. No tocante à precipitação, constata-se uma diminuição da precipitação anual, acompanhada, por vezes, de fenómenos extremos de precipitação no outono/inverno e de secas com maior duração na primavera/verão. É por isso expectável, pelo IPMA, que no futuro haja um aumento de temperatura e um decréscimo de precipitação. As consequências desta mudança climática estão-se já a verificar, a nível nacional, em que já há escassez de água nos meses de primavera/verão, altura em que ela é mais necessária para a agricultura (Pires, 2022).

Face a este cenário, entende-se que se torna necessário rentabilizar a aplicação da água na agricultura, colocando-se o enfoque na melhoria de oportunidade de rega e da eficiência de aplicação. Há uma necessidade crescente de redução de perdas de água, por forma a se protegerem os recursos hídricos naturais e, conseqüentemente, o meio ambiente (DGDR, 2014).

O objetivo deste trabalho consiste em elaborar um roteiro de auditoria à eficiência de um sistema de rega por aspersão, através de rampa polar. Para analisar a sua funcionalidade, fez-se em paralelo uma avaliação a um sistema de rega com rampa polar e comparou-se os resultados obtidos com a respetiva carta de rega.

Apesar de só se conseguir ter acesso a um número reduzido de dados, estes foram suficientes para chegar a conclusões sobre a eficiência da aplicação da água nas regas efetuadas. Não se conseguiu quantificar os custos de aplicação de água em excesso nas regas, essencialmente custos energéticos, nem a dimensão da pegada ecológica da cultura, também por falta de dados para o efeito, embora se constatasse que houve rega excessiva.

Palavras-chave: Água na agricultura; Eficiência de rega; Eficiência energética; Balanço hídrico; Carta de rega.

Abstract

Food production and water use are closely related, which makes water use the main factor limiting agricultural production in vast areas of the globe (FAO, 2012). The agricultural sector is the largest consumer of freshwater, both globally and nationally (Selborne, 2002), and, according to the PNA, is responsible for around 75% of the consumption of this resource in Portugal.

Currently, we are seeing an increase in the air temperature in all seasons of the year, accompanied by longer lasting heat waves. With regard to precipitation, there is a decrease in annual precipitation, sometimes accompanied by extreme precipitation phenomena in the autumn/winter and longer lasting droughts in the spring/summer. It is therefore expected, by the IPMA, that in the future there will be an increase in temperature and a decrease in precipitation. The consequences of this climate change are already being seen at a national level, where there is already a shortage of water in the spring/summer months, when it is most needed for agriculture (Pires, 2022).

Considering this scenario, it is understood that it is necessary to optimize the application of water in agriculture, focusing on improving irrigation opportunities and application efficiency. There is a growing need to reduce water losses in order to protect natural water resources and, consequently, the environment (DGDR, 2014).

The objective of this paper is to create an audit script for the efficiency of an irrigation system, using a pivot. To analyze its functionality, an evaluation of a pivot irrigation system was carried out in parallel and the results obtained were compared with the respective irrigation chart.

Despite only being able to access a small data pool, these results were sufficient to reach conclusions about the efficiency of water application in the irrigation that were carried out. Due to the lack of data, it was not possible to quantify the costs of applying excess water in irrigation, essentially energy costs, nor the size of the ecological footprint of the crop, although it was found that there was excessive watering.

Keywords: Water in agriculture; Irrigation efficiency; Energy efficiency; Hydric balance; Watering chart.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de abreviaturas	ix
Índice de quadros	x
Índice de figuras	xi
1. Introdução	1
1.2 Objetivo	3
2. Enquadramento teórico-concetual	5
2.1 Necessidades hídricas duma cultura	5
2.1.1 Evapotranspiração	5
2-2 Evapotranspiração de referência e evapotranspiração cultural em condições padrão	6
2.3 Balanço hídrico do solo e necessidades de água para rega	9
2.3.1 Gestão da rega baseada no balanço hídrico do solo	11
2.4 Infiltração de água no solo	11
2.5 Métodos e sistemas de rega	13
2.5.1 Principais componentes de um sistema de rega por aspersão	14
2.5.2 Tipos de instalações de rega por aspersão	14
2.6 Sistema de bombagem	16
2.7 Uniformidade de distribuição	18
3 Material e métodos	21
3.1 Localização do ensaio	21
3.2 Caraterização do clima da região	22
3.3 Caraterização do solo	23
3.4 Metodologia	25
3.5 A cultura do milho	25
3.6 Sistema de rega utilizado	26
3.7 Sistema de bombagem utilizado	28
4 Resultados e discussão	32
4.1 Cálculo das necessidades hídricas	32
4.2 Avaliação da eficiência de rega da rampa polar	32
4.3 Desempenho das sondas capacitivas TDR	35
4.4 Desvantagens da falta de eficiência de rega	38
4.5 Auditoria a um sistema de rega por rampa polar-Proposta de execução	40
5 Conclusões	48
5.1 Acompanhamento da cultura do milho	48
5.2 Auditoria de um sistema de rega por rampa polar	51
5.3 Perspetivas futuras-Água–Um bem a preservar, um custo a rentabilizar	51
6 Bibliografia	54
Anexo	58

Lista de abreviaturas

Cc – Capacidade de campo

CC – Curva característica

Ce – Coeficiente de emurchecimento

Cfu – Coeficiente de água facilmente utilizável

CUC - Coeficiente de uniformidade de Christiansen

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição

CUH - Coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein

DGP – Défice de gestão permissível

DGADR – Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural

ET – Evapotranspiração

ETc – Evapotranspiração cultural

ETo – Evapotranspiração de referência

EZN – Estação Zootécnica Nacional

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

Is – Infiltração superficial de água no solo

ISAREG – Programa informático para cálculo do balanço hídrico

Kc – coeficiente cultural

Pabs – Potência absorvida

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNUEA – Programa Nacional para Uso Eficiente da Água

POPH – Plano Operacional de Potencial Humano

SI – Sistema Internacional

TDR – Time Domain Reflectometry

Zr – Espessura do solo na zona radicular

Lista de quadros

Quadro 1-Taxa básica de infiltração em função dos valores médios da textura do solo	13
Quadro 2 – Modelação numérica da CC da bomba marca CAPRARI, modelo E10S50/3D+MAC650A-8V	17
Quadro 3 – Resultados das amostras de solo dap	24
Quadro 4 – Duração do ciclo total e fases de desenvolvimento, em número de dias da cultura do milho	26
Quadro 5 – Composição da rampa polar	27
Quadro 6 - Dados técnicos do PIVOT	27
Quadro 7 – Modelação numérica da curva caraterística (CC) da coluna de impulsão da bomba.	29
Quadro 8 – Tarifário de energia	30
Quadro 9 -Custo esperado com o consumo da bomba-ano médio	30
Quadro 10 - Custo esperado com o consumo da bomba-ano húmido	31
Quadro 11 - Custo esperado com o consumo da bomba-ano seco	31
Quadro 12 – Parâmetros de rega	32
Quadro 13 – Resultado da recolha de água pelos pluviómetros	33
Quadro 14 - Comparação da rega recomendada (ISAREG) e rega indicada pela sonda	36
Quadro 15 – Variação do caudal e gasto energético	38

Lista de figuras

Figura 1 – Evolução do coeficiente cultural K_c ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura	8
Figura 2 - Balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes	10
Figura 3 - Gráfico típico da infiltração de água no solo em função do tempo	12
Figura 4 – Imagem representativa de uma rampa polar	15
Figura 5 – Parte de Quinta da Cardiga, onde está localizada a parcela em estudo e a charca	21
Figura 6 - Temperatura do ar em Santarém: 1955 - 2021	22
Figura 7 - Precipitação em Santarém: 1955 - 2021	23
Figura 8 – Caracterização pedológica	24
Figura 9 – Cabeçal de rega	27
Figura 10 – Gráfico com o andamento da CC da coluna de impulsão da bomba.	29
Figura 11 – Gráfico de recolha de água de rega em pluviómetros (7/6)	34
Figura 12 – Gráfico de 6 recolhas de água de rega em pluviómetros	35
Figura 13 – Sonda TDR – Humidade do solo	36
Figura 14 – Gráfico da rega recomendada (ISAREG) e rega efetiva	37
Figura 15 – Gráfico da rega recomendada (ISAREG) e rega efetiva	37
Figura 16 – Variação de caudal ao longo do ciclo cultural	39
Figura 17 – Alagamento do solo, após rega	39
Figura 18 – Contador volumétrico	48
Figura 19 – Charca – Eutrofização	49

1 – Introdução

A água é um recurso hídrico que deve ser utilizado para benefício do Homem sem comprometer as necessidades dos ecossistemas e a continuidade hídrica dos cursos de água (PNUEA, 2012), pelo que, sendo agricultura o maior utilizador de água, tanto à escala global, como à escala nacional (Silva, 2016), esta atividade deverá utilizá-la com a maior eficiência.

Segundo o Sistema Copernicus da União Europeia, o Verão de 2022 foi o mais quente já registado na Europa. Consequentemente, a precipitação foi quase que inexistente. Portugal teve quase todo o seu território em situação de seca extrema durante o período estival. As alterações climáticas, já presentemente constatadas, introduzem um elevado grau de incerteza em relação à disponibilidade de recursos hídricos no futuro. Considerando a mudança dos padrões anuais de precipitação, o consumo crescente de água e as alterações climáticas, é de prever, futuramente, a ocorrência de escassez de água doce em algumas regiões do país durante a época estival.

Perante uma possível futura escassez de água, os seus utilizadores (indústria, agricultura e consumo humano) terão de desenvolver formas de utilizar menores quantidades de água, para atenuar previsíveis efeitos de falta de água doce, que se irão refletir, inevitavelmente, nos ecossistemas mais dependentes da água, correndo o risco de sofrerem danos irreversíveis.

A agricultura exerce pressão sobre o meio ambiente, em particular sobre a água, em termos de quantidade e de qualidade. As medidas de política europeias e nacionais tentam promover o uso sustentável da água apoiando as boas práticas agrícolas. É certo que já se verifica por parte de alguns agricultores a utilização de tecnologia mais eficiente nos seus sistemas de rega, mas o seu impacto ainda é muito reduzido face à urgência de melhores resultados sobre a eficiência de aplicação de água nas culturas. Para além disso, o preço atual da água ainda não é real (sendo limitado por condicionantes governamentais), facto que não incentiva os agricultores a alterarem substancialmente os seus atuais modos de produção, nomeadamente a melhorarem a eficiência de rega, por tais melhorias dependerem em larga medida de investimentos avultados em infraestruturas e de adoção de métodos de rega mais evoluídos do que os tradicionalmente utilizados. Refira-se que menos água utilizada corresponde, internamente, a menos energia gasta, com a diminuição do inerente custo e, externamente, a menos custos ambientais.

A água possui três valores intrínsecos: um valor económico, um valor social e um valor ambiental. O valor económico da água reflete os custos da sua disponibilização, sendo estes relativamente fáceis de calcular, mas já os valores ambiental e social são difíceis de determinar e normalmente ignorados. Um “mercado da água” pressupõe a determinação o preço da água que reflita, por um lado os custos de disponibilização e, por outro, a disposição do agricultor a pagar (INE, 2011: 7).

Uma utilização sustentável dos recursos hídricos, que não coloque em risco o seu uso por parte das gerações vindouras, deverá reger-se pelos seguintes três princípios básicos:

- O princípio do valor social da água, que reconhece que a água é um bem de consumo essencial, ao qual todos devem ter acesso;
- O princípio do valor ambiental da água, que determina que a água é um recurso cuja sustentabilidade ambiental deve ser assegurada, para que o próprio princípio do valor social não seja colocado em causa;
- O princípio do valor económico da água, que evidencia que a água é um recurso escasso, cuja utilização deve ser economicamente eficiente, ou seja, em que os benefícios resultantes da sua utilização devem ser capazes de compensar a totalidade dos custos inerentes ao seu uso.

A aplicação de facto destes princípios exige, por um lado, a capacidade para determinar as diversas componentes de custo que resultam da utilização de água para rega (componente ambiental, componente de escassez e componente de capital) e, por outro, o conhecimento dos diversos benefícios que resultarão dessa utilização (benefícios sociais e benefícios económicos e, por vezes com alguma importância na agricultura, benefícios em termos ambientais e da própria escassez). Nesse sentido, e do lado dos custos, a definição das condições de sustentabilidade do uso de água para rega implica: por um lado, a internalização dos custos decorrentes de utilizações suscetíveis de causar um impacto negativo na qualidade (custos ambientais) e na quantidade (custos de escassez) de água disponível; por outro, a recuperação integral dos custos dos serviços públicos que beneficiam os utilizadores da água disponível (custos de investimento na captação, armazenamento e distribuição da água, e respetivos custos de manutenção e de exploração) (INE, 2011, 86).

As carências hídricas que, normalmente, se registam todos os anos no período Primavera-Verão, com uma intensidade marcada no Sul da Europa, limitam e oneram

fortemente a produção agrícola, tornando-a menos rentável e, conseqüentemente, menos competitiva. Por isso, é oportuno debater as condições de utilização da água neste contexto, procurando encontrar as melhores soluções técnicas, económicas e sociais, que tornem possível melhorar a eficiência de utilização e a qualidade da água, em resposta às preocupações ambientais.

1.2 - Objetivo

O objetivo deste trabalho, que acompanhou o desenvolvimento de uma cultura já instalada, numa propriedade privada, e não um ensaio experimental, consistiu na elaboração de um plano de auditoria à eficiência de um sistema de rega e do sistema energético que o sustenta, suportado numa lista de verificação dirigida aos pontos críticos do sistema, onde pudessem haver desajustes de consumos em relação às reais necessidades hídricas das culturas, com vista a disponibilizar informação para sustentar a introdução de medidas corretivas no sistema, no sentido de aumentar a sua eficiência hídrica e energética e, conseqüentemente, conseguir poupanças de água e de energia, reduzindo assim os custos destes fatores de produção.

Para isso, estabeleceu-se a comparação entre as necessidades teóricas estimadas da cultura, através do levantamento de dados edáficos e climáticos (análise do solo, recolha de dados meteorológicos e balanço hídrico) e as dotações de água efetivamente disponibilizadas à cultura. Portanto, foi necessário conhecer as necessidades hídricas ao longo do ciclo de crescimento da cultura, as características de retenção de água do solo e o método de rega utilizado para avaliação da dotação de rega a aplicar e avaliar o desempenho do sistema de rega, para aferir se todos os processos de automatização e controlo foram eficazes na gestão da rega.

Paralelamente fez-se uma avaliação ao desempenho da estação de bombagem associada ao sistema de rega, elemento que contribui significativamente para o seu custo de exploração. Procurou-se medir o rendimento da bombagem, calculado pela relação entre o consumo de energia e o binómio caudal-pressão (massa-energia), analisando-se a resposta deste equipamento e a sua adequação às necessidades do sistema de rega.

Saliente-se que os aumentos crescentes dos custos energéticos na agricultura, também fruto da crescente mecanização, irão forçar os agricultores a adotar medidas que permitam a redução do seu impacto nos custos de exploração, nomeadamente através de práticas potenciadoras da eficiência energética (Sobral, 2009).

As perguntas que se pretenderam responder foram as seguintes:

- Há divergência entre as dotações teóricas de água, calculadas com base no balanço hídrico, e as dotações efetivamente disponibilizadas pelo sistema de rega?
- Que alternativas técnicas é possível propor e implementar para se conseguir um adequado consumo de água, face às necessidades da cultura?
- A melhoria da eficiência de aplicação de água de rega terá reflexo significativo no consumo energético? Estará o fornecimento de energia contratado nas melhores condições de mercado no contexto dos consumos da exploração?

2 - Enquadramento teórico/conceptual

2.1 - Necessidades hídricas duma cultura

As necessidades hídricas de uma cultura correspondem à quantidade de água necessária fornecer-lhe para repor as perdas por evapotranspiração. Representa a quantidade de água que as plantas precisam para se manterem em boas condições de desenvolvimento vegetativo.

2.1.1 - Evapotranspiração

A evapotranspiração é a combinação de dois processos distintos onde a água é perdida através da superfície do solo por evaporação e através da transpiração das plantas. A evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente e não há uma maneira fácil de distinguir estes dois processos. Ao longo do período de crescimento da planta, esta fração vai diminuindo uma vez que a cultura se desenvolve e as suas folhas vão cobrindo cada vez mais área do solo. Enquanto a cultura está na fase inicial, a água é maioritariamente perdida por evaporação, mas quando a cultura está bem desenvolvida e cobre completamente o solo, a transpiração torna-se o processo principal (Allen *et al.*, 1998).

A evaporação é o processo pelo qual a água passa do estado líquido para o estado de vapor, a qualquer temperatura inferior ao ponto de ebulição, e é removido a partir da superfície de evaporação. A água evapora através de diversas superfícies, tais como lagos, rios, pavimentos, solos e vegetação molhada.

Para alterar o estado das moléculas de água do estado líquido para o estado de vapor é necessária uma determinada energia. Esta energia é proveniente da radiação solar direta e do calor do ar ambiente. A força motriz que remove o vapor de água a partir da superfície de evaporação é a diferença entre a pressão de vapor de água na superfície de evaporação e a pressão da água na atmosfera circundante.

A substituição do ar saturado depende muito da velocidade do vento. Assim, a radiação solar, temperatura do ar, humidade do ar e velocidade do vento são parâmetros climatológicos que se têm de considerar ao avaliar o processo de evaporação (Allen *et al.*, 1998).

Designa-se por transpiração a evaporação da água absorvida pelas plantas e por elas eliminadas nos diferentes processos biológicos (Lencastre, 1984), ou seja, consiste no processo de transferência do vapor de água das plantas para a atmosfera. Esta perda

de água das plantas dá-se através dos estomas das plantas. A água, juntamente com alguns nutrientes, é absorvida pelas raízes e transportada através da planta. A vaporização ocorre nos espaços intercelulares e a troca de vapor com a atmosfera é controlada pela abertura estomática. A transpiração depende do fornecimento de energia, do gradiente de pressão de vapor e do vento. Assim, a radiação, a temperatura do ar, a humidade do ar e o vento devem ser tidos em conta quando se faz a avaliação da transpiração. A velocidade de transpiração é também influenciada por características da cultura, aspetos ambientais e práticas de cultivo. Esta velocidade pode ser diferente de cultura para cultura (Allen *et al.*, 1998).

O conjunto destes dois processos constitui a evapotranspiração (ET), que inclui, portanto, a transpiração das plantas e a evaporação do meio circundante (superfície do terreno). A evapotranspiração constitui, assim, toda a “perda de água que ocorreria em condições de solo perfeitamente abastecido de água para uso da vegetação” (Thornthwaite, 1944).

2.2 - Evapotranspiração de referência e evapotranspiração cultural em condições padrão

A evapotranspiração de referência ETo (cuja superfície de referência é uma cultura de relva hipotética, com uma altura de 0,12 m, uma resistência à superfície de 70 s m⁻¹ e um albedo de 0,23) representa a quantidade de água que pode passar para a atmosfera, diretamente ou através das plantas, admitindo que o solo se encontra sempre bem abastecido de água e coberto de vegetação, em condições padronizadas. A evapotranspiração pode ser estimada de várias maneiras. Pode ser estimada por métodos diretos utilizando evaporímetros ou evapotranspirómetros (lisímetros), ou por estimativa através de informações climáticas utilizando fórmulas teóricas, nomeadamente a fórmula de Penman-Monteith (1965), abaixo indicada.

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Onde,	λ	Calor latente de vaporização [MJ kg ⁻¹];
	ET	Evapotranspiração [kg m ⁻² d ⁻¹];
	R _n	Radiação líquida à superfície da cultura [MJ m ⁻² d ⁻¹];
	G	Fluxo de calor no solo [MJ m ⁻² d ⁻¹];
	(e _s -e _a)	Défice de pressão de vapor [kPa];
	ρ_a	Massa volúmica média do ar a pressão constante [kg m ⁻³];
	c _p	Calor específico do ar [MJ kg ⁻¹ K ⁻¹];
	Δ	Declive da curva de pressão de vapor na saturação em função da temperatura [kPa K ⁻¹];
	γ	Constante psicrométrica [kPa K ⁻¹];
	r _s	Resistência de superfície [s m ⁻¹];
	r _a	Resistência aerodinâmica [s m ⁻¹].

A evapotranspiração referenciada a uma cultura particular diz-se evapotranspiração cultural *ETc* e resulta da multiplicação da *ETo* pelo coeficiente cultural, *kc*, da cultura. Na avaliação da evapotranspiração das culturas instaladas em grandes campos, o tipo de cultura, a sua variedade e estágio de desenvolvimento devem ser considerados. As diferenças na altura da cultura, reflexão, cobertura do solo, resistência à transpiração e características de enraizamento originam diferentes valores de ET, em diferentes tipos de culturas sob condições ambientais idênticas.

A evapotranspiração cultural sob condições padrão *ETc*, refere-se à evaporação de uma determinada cultura, quando esta se encontra nas seguintes condições (Allen *et al.*, 1998):

- Cultura em boas condições de desenvolvimento;
- Campos de grandes dimensões e bem fertilizados;
- Condições ótimas de água no solo;
- Atingir a plena produção para as condições climáticas da região.

Segundo a metodologia da FAO, a evapotranspiração cultural *ETc* é obtida através da multiplicação da *ETo* por um coeficiente, designado por coeficiente cultural *Kc*. Este coeficiente tem um valor inferior a 1,0 para culturas que necessitam de menos água do que a relva e superior a 1,0, para culturas que necessitam de mais água. Este depende principalmente das características da cultura e está sujeito apenas a um pequeno impacto do clima.

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

Onde, ET_c Evapotranspiração cultural [mm d^{-1}];
 K_c Coeficiente da cultura [-];
 ET_0 Evapotranspiração de referência [mm d^{-1}].

Para Allen, os fatores que determinam este coeficiente são:

- Estado vegetativo da cultura; o aumento da capacidade de transpiração depende do aumento da superfície estomática e, portanto, do desenvolvimento da área foliar. O aumento do grau de cobertura do solo implica diminuição da evaporação.
- Teor de humidade no solo; na fase inicial, quando a cobertura do solo é pequena, uma grande parcela da evapotranspiração é a evaporação direta a partir do solo. Quando existe défice de água no solo, a planta entra em situação de stress hídrico e diminui a sua atividade estomática (Allen *et al.*, 1998). As necessidades hídricas das plantas não são constantes ao longo do seu ciclo de crescimento e dependendo das diferentes fases de crescimento (inicial, crescimento rápido, pleno desenvolvimento e final) (Figura 1). Enquanto as plantas não ocupam a totalidade do solo, o seu K_c é pequeno (fase inicial). À medida que vão crescendo e passam a ocupar mais de $\frac{3}{4}$ da superfície do solo, o seu K_c aumenta e atinge um máximo (altura da floração). O valor de K_c mantém-se no seu máximo na fase inicial da formação dos frutos e começa a diminuir rapidamente, à medida que a cultura entra em senescência (Shahidian, 2012).

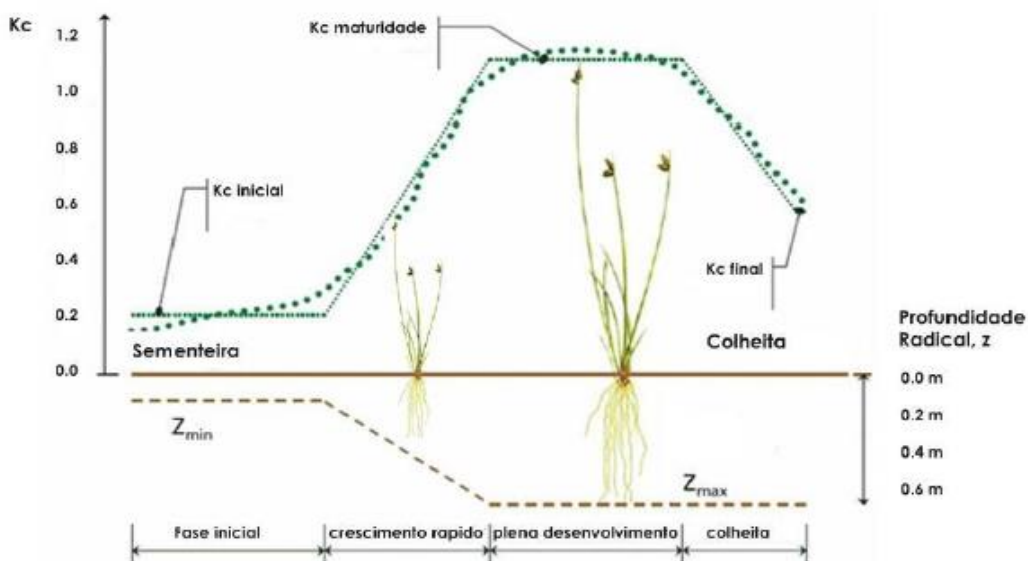


Figura 1 – Evolução do coeficiente cultural K_c ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura (Fonte: Shahidian, 2012).

Conhecendo a *ETc*, o agricultor deve repor a água perdida pela cultura. Esta reposição pode ser diária (especialmente quando as plantas são pequenas) ou ter um intervalo maior à medida que as culturas crescem. O intervalo entre regas deve aumentar à medida que as raízes vão penetrando as camadas mais profundas do solo (Shahidian, 2012).

Quando se opta por fazer a rega de uma cultura, deve-se tentar conseguir humedecer toda a zona radicular das plantas sem que haja perdas por lixiviação, ou seja, em cada rega pretende-se levar água a toda a zona explorada pela planta e encorajar o seu crescimento e, eventualmente se necessário, realizar alguma lavagem dos sais (Shahidian, 2012).

As estimativas da evapotranspiração são indispensáveis para a previsão das necessidades de água em projetos de rega.

2.3 - Balanço hídrico do solo e necessidades de água para rega

Conhecer o balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é essencial para uma boa gestão da água em regadio. Quando se pensa em regar uma cultura, é necessário responder a três questões fundamentais: quando, como e quanto regar.

As necessidades hídricas das culturas podem ser vistas de uma maneira direta, através da medição ou avaliação do teor de água no solo, e através das manifestações fisiológicas das plantas devidas à carência hídrica, que devem servir como indicadores padrão para determinar quando regar. Estes indicadores podem ser de carácter empírico, como por exemplo a cor e o enrolamento das folhas, ou constituir métodos científicos, como os relativos ao potencial da água nas folhas e à temperatura do copado (Pereira, 2004). Estes métodos proporcionam ao agricultor uma ferramenta muito precisa para acompanhar as necessidades de rega das culturas, uma vez que permitem saber a tensão efetiva que as raízes precisam de superar para retirar água do solo (Shahidian, 2012).

Na fase de conceção dos sistemas de rega, é habitual fazer-se um balanço hídrico da água no solo para determinar as necessidades de água para rega. O cálculo destas necessidades é baseado numa aproximação simplificada do balanço hídrico do solo, onde se considera que parte das necessidades de água são satisfeitas pela precipitação, rega, reserva de água no solo e pela ascensão capilar, e que as saídas de água correspondem à evapotranspiração, à percolação para além da zona radicular e ao eventual escoamento à superfície do solo, como se pode observar na Figura 2 (Pereira, 2004).

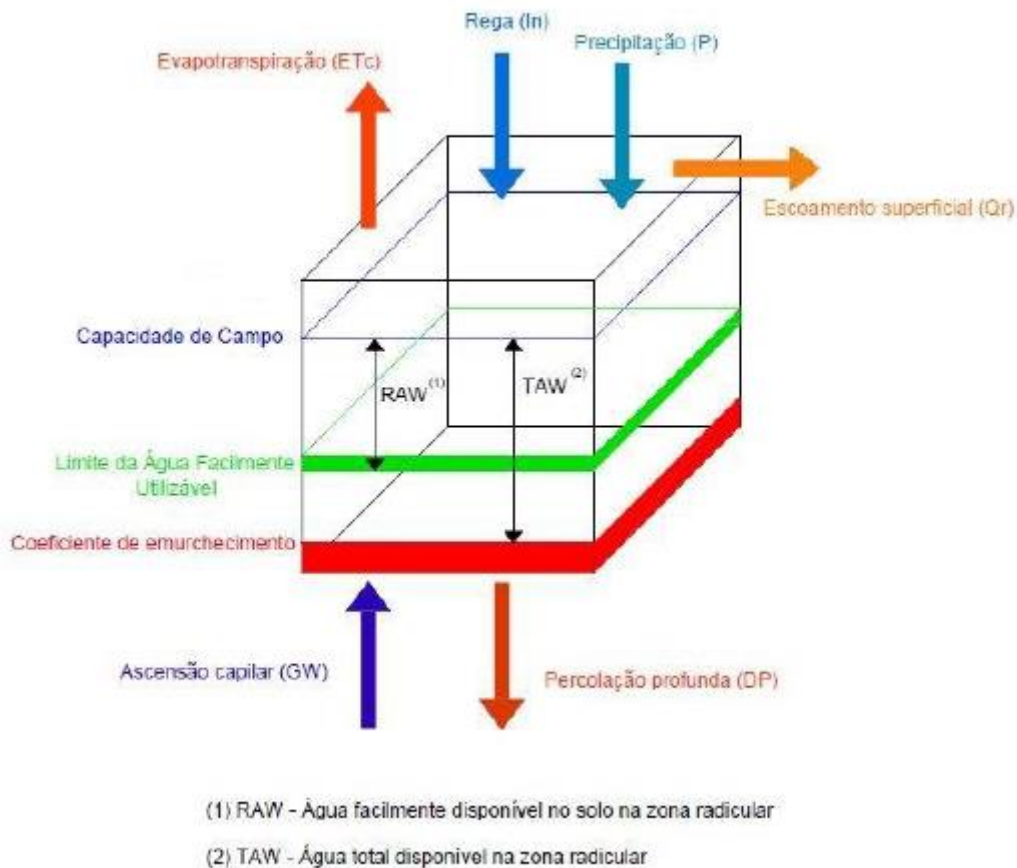


Figura 2 - Balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes (Fonte: Allen *et al.*, 1998).

A equação geral do balanço hídrico na zona radicular de espessura Δz (m) e para um intervalo de tempo Δt (dias), é dada pela equação seguinte:

$$\Delta S = (P + I_n + GW) - (Q_r + DP + ET_c)$$

Onde,	ΔS	Varição do armazenamento de água no solo [mm];
	P	Precipitação [mm];
	I_n	Dotação de rega [mm];
	GW	Fluxo acumulado de ascensão capilar [mm];
	Q_r	Escoamento superficial [mm];
	DP	Fluxo acumulado de drenagem profunda ou percolação [mm];
	ET_c	Evapotranspiração da cultura [mm].

A equação acima aplica-se entre a superfície do solo e uma profundidade Z_r da zona radicular. Todas as variáveis da equação do balanço hídrico do solo são expressas em mm e são relativos ao período Δt (Pereira, 2007).

2.3.1 - Gestão da rega baseada no balanço hídrico do solo

Saber como se movimenta a água que é retida pelo solo e a forma como essa água é retida, é de grande importância para uma gestão de rega eficaz e eficiente. O solo armazena água e as plantas usam-na dentro dos seguintes limites: o limite superior do teor de água do solo, designado por capacidade de campo C_c , e o limite inferior do teor de água no solo, designado por coeficiente de emurchecimento C_e .

A capacidade de campo C_c corresponde à quantidade de água que fica retida no solo, depois de uma rega abundante ou de uma grande chuvada, quando cessa a infiltração da água em profundidade, ou seja, representa a água higroscópica e capilar que o solo retém depois de se ter escoado a água gravitacional (Raposo, 1994).

O coeficiente de emurchecimento C_e é a quantidade de água retida no solo, abaixo da qual as plantas não conseguem realizar a absorção radicular. Quando as plantas já não conseguem extrair água do solo começam a emurchar e morrem (Raposo, 1994).

Teoricamente, a água do solo encontra-se disponível até ao coeficiente de emurchecimento permanente. No entanto, a extração de água pela planta sofre uma redução antes do nível de humidade no solo atingir o coeficiente de emurchecimento permanente. À medida que as plantas vão consumindo água, as partículas do solo tendem a reter o resto da água com uma tensão maior, tornando-se cada vez mais difícil para as plantas extraí-la, resultando assim num aumento de stress hídrico (Whiters & Vipond, 1974).

A fração de água disponível no solo que a cultura pode extrair da zona radicular sem sofrer stress hídrico é a água no solo facilmente disponível C_{fu} .

2.4 – Infiltração de água no solo

A infiltração superficial define-se como toda a água que em sentido descendente atravessa a fronteira entre o meio superficial e o solo. A infiltração superficial constitui um processo do ciclo hidrológico, que afeta diretamente o escoamento, e pode dar-se pelo contacto da água de precipitação no solo, pode provir da água armazenada em rios ou lagos, ou pode resultar da água que penetra através da vegetação ou que escorre pelos seus troncos (Oliveira, 2004). A infiltração tem duas grandezas características: a capacidade de infiltração e a taxa de infiltração (Carvalho & Silva, 2006). A capacidade de infiltração, expressa em mm.h^{-1} , é definida como a quantidade máxima de água que se pode infiltrar no solo, num dado intervalo de tempo. Pode ser dividida em dois

regimes. Inicialmente, a absorção da água ocorre segundo um regime transitório onde a taxa de infiltração é elevada, mas tende a diminuir até atingir o regime estacionário, onde a taxa de infiltração se mantém aproximadamente constante ao longo do tempo (Figura 3).

A taxa de infiltração, também expressa em mm.h^{-1} , é entendida como o volume de água, por unidade de área, que efetivamente atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. Ou seja, é a velocidade com que a água se infiltra no solo e depende da quantidade de água disponível (precipitação) e da sua variação anterior (Carvalho & Silva, 2006).

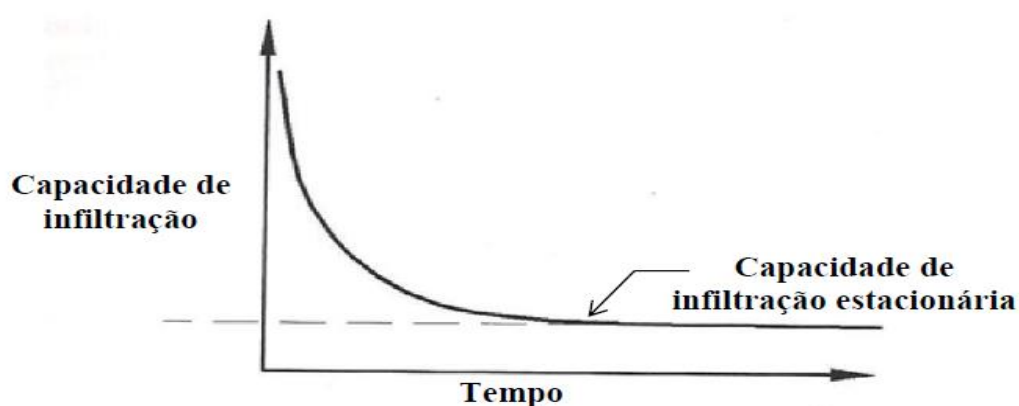


Figura 3 – Infiltração de água no solo em função do tempo (Adaptado de Barrett *et al*, 2003)

A metodologia para o cálculo da infiltração superficial foi desenvolvida com o intuito de calcular a recarga de águas subterrâneas por balanço hídrico sequencial diário. Este método, na sua forma mais simples, utiliza a seguinte equação (Oliveira, 2006):

$$R = P - E_d - ETR - \Delta AI$$

Onde

R recarga

P precipitação

E_d escoamento direto

ETR evapotranspiração real (a partir do solo)

ΔAI Variação do armazenamento de água no solo (final do dia e início do dia seguinte).

A diferença entre a precipitação P e o escoamento direto E_d representa a infiltração superficial. A quantidade de água que atinge o solo pode infiltrar-se na sua superfície, ficar retida à superfície (solo alagado), no caso da taxa de precipitação ser superior à

capacidade de infiltração do solo, ou escoar à superfície, no caso da capacidade de armazenamento à superfície estar esgotada. Se ficar retida à superfície pode também haver evaporação da água armazenada (Oliveira, 2004). Tanto a estrutura e granulometria do solo, como as mobilizações a que foi sujeito e a existência de eventuais desníveis têm influência na taxa de infiltração superficial.

A taxa básica de infiltração é a que se verifica após a estabilização da infiltração. No Quadro 1, apresenta-se os valores médios da taxa de infiltração básica de acordo com o tipo de solo (textura).

Quadro 1 – Taxa básica de infiltração conforme tipo de solo

Tipo de solo	Taxa básica de infiltração (mm/h)
Arenoso	30
Areno-limoso	20 - 30
Limoso	10 - 20
Limo-argiloso	5 - 10
Argiloso	1 - 5

Fonte: RELREG

Esta taxa permite caracterizar os solos tendo em vista o regadio. No caso de irrigação, é fundamental conhecer o comportamento do solo em regime estacionário, pois idealmente, um sistema de rega nunca deve fornecer uma quantidade de água superior à que pode ser absorvida pelo solo. Se estes requisitos não forem cumpridos, resultam impactos negativos na eficiência da rega.

2.5 - Métodos e sistemas de rega

De acordo com Raposo, os sistemas de rega dividem-se em dois grandes grupos: rega por gravidade e rega sob pressão. Um dos tipos de rega deste último grupo é a rega por aspersão (Raposo, 1994).

A rega por aspersão consiste em distribuir a água ao solo sob a forma de chuva. Os aparelhos utilizados para esse fim são designados por aspersores. Segundo Raposo, a rega por aspersão é o método de rega mais racional, completo e perfeito e com maior divulgação em quase todo o mundo (Raposo, 1994). Na atualidade, ainda continua a ser um método de rega muito utilizado pois adapta-se bem a inúmeras situações.

2.5.1 - Principais componentes de um sistema de rega por aspersão

Uma instalação de rega por aspersão é normalmente constituída por uma estação de bombagem (com grupo motor-bomba, respetiva aspiração e dispositivos complementares), tubagens (fixas ou móveis), aspersores e acessórios (ligações, curvas, reduções, válvulas, tampões, etc.) e programadores de rega (Pereira, 2004).

Dependendo da topografia do terreno, podem-se ter dois tipos de instalação que são designadas por aspersão por cota de rega negativa e por aspersão por bombagem. Se o nível da água se encontrar a cota suficiente para operar os aspersores com uma pressão favorável ao seu funcionamento, não se torna necessário o grupo motor-bomba (Pereira, 2004).

O sistema de bombagem é o componente responsável pelo fornecimento da energia necessária à operação do sistema. A água é transportada através de uma rede de tubagens até atingir os pontos de entrada nos sectores de rega. Neste caso particular – a Quinta da Cardiga -, a água é bombeada a partir de um reservatório artificial (charca) e distribuída a partir daí pela estação de bombagem para os centros das rampas polares ou as válvulas de sector das áreas de rega por aspersão clássica.

2.5.2 - Tipos de instalações de rega por aspersão

Os sistemas de rega por aspersão podem ser genericamente divididos em dois grandes sistemas: estacionários e semoventes (Raposo, 1994).

As instalações semoventes são compostas por dispositivos mecânicos que se deslocam sobre o terreno, enquanto fazem a distribuição de água. São instalações bastante funcionais, uma vez que não é necessário mudar manualmente as tubagens e os aspersores de umas posições para as outras. Acarretam um baixo custo de mão-de-obra e podem regar durante o período noturno, caso estejam automatizados. As instalações semoventes são indicadas para parcelas com áreas consideráveis concentradas, onde os equipamentos possam rentabilizar melhor os seus custos de instalação. Escusado será dizer que, os sistemas semoventes, pela sua origem mecânica também possuem limites em termos de relevo, face à garantia da estabilidade do seu funcionamento.

A variante do sistema de rega por aspersão frequentemente designada pela palavra estrangeira *pivot* e denominada em Portugal por rampa polar, rampa pivotante ou rampa rotativa, está apoiada a alguns metros do solo em estruturas automotoras, denominadas torres. Este ramal apoiado apresenta uma extremidade fixa (o polo ou centro) por onde

recebe a água para fazer funcionar o sistema e as torres móveis, que em movimento descrevem um círculo em torno da primeira. É formado por um conjunto de tubagens, normalmente em aço galvanizado, onde estão distribuídos os emissores. As torres, dotadas de um motor, servem de sustentação ao ramal com emissores e, ao mesmo tempo, são elas que permitem o movimento do ramal ao longo da área a regar, neste caso com a forma de uma coroa circular. A porção de ramal e a restante estrutura de sustentação entre duas torres automotoras tem o nome de lanço. A flexibilidade entre dois lanços adjacentes permite que a rampa polar não tenha um movimento rígido e se adapte às condições topográficas do terreno. O último lanço da rampa polar, denominado lanço suspenso, está apoiado apenas na última torre, ficando a outra extremidade segura por cabos, tendo, por isso menor comprimento que os outros lanços. A Figura 4 tenta ilustrar o que se acabou de referir.

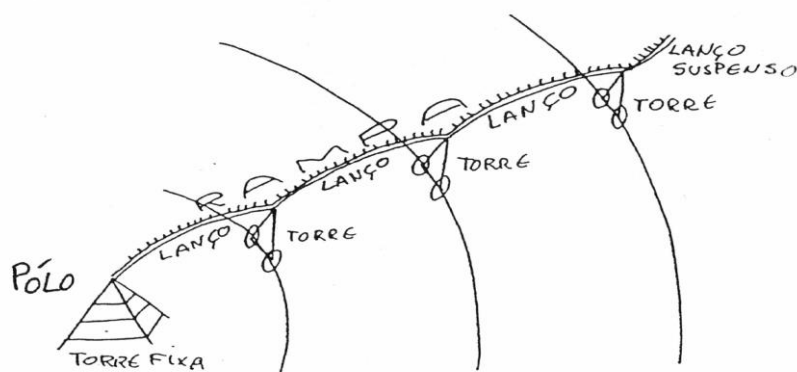


Figura 4 – Imagem representativa de uma rampa polar (*Center-Pivot*)
(Extraído de Serafim, A., 1994)

De entre as principais vantagens desta técnica de rega, destaca-se a simplicidade na operação, a eficiência no uso de água e energia, o baixo custo com mão de obra depois de instalada, a possibilidade de irrigação de longas distâncias, a facilidade de adaptação em solos regulares ou com pouco declive e eficiência e facilidade na aplicação de fertirrega. É de considerar sempre a realização de um estudo técnico-económico relativo a este sistema de rega, face aos valores de investimento inicial que o mesmo poderá acarretar. Se bem dimensionado para cada situação em particular, a médio/longo prazo este investimento torna-se rentável pela poupança de custos, emergente das vantagens apontadas.

Quanto à tecnologia utilizada nos equipamentos de aplicação de água de rega, tem-se verificado nos últimos anos uma melhoria significativa nos processos de automatização, monitorização e controlo de rega. O aumento do preço da energia consumida para a disponibilização de água às culturas faz com que a rega seja considerada um custo de produção com uma importância crescente na gestão agrícola. É necessário otimizar a sua prática para viabilizar a rentabilidade das culturas.

Também a fertirrega tem vindo a ser cada vez mais utilizada, o que tem contribuído para o aumento da importância da rega e, conseqüentemente, para o seu controlo, uma vez que condiciona fortemente os resultados da produção.

Neste âmbito, torna-se cada vez mais frequente encontrar em explorações agrícolas sistemas de rega automatizados, com controlo e monitorização à distância (internet ou telemóvel), com sondas de humidade do solo de diversos tipos, com contadores volumétricos (com a finalidade de controlar as dotações aplicadas), e com acesso a avisos de rega (dotações de rega para determinadas culturas numa região).

2.6 – Sistema de bombagem

Para se abastecer as áreas de rega (rampas polares ou sectores de aspersão clássica) através da rede de distribuição, é necessário um sistema de bombagem. As características da bombagem são determinadas em função do caudal necessário e da carga a que em cada momento o sistema de rega necessita.

Para se balizar o regime de operação de uma bomba é preciso modelar-se matematicamente a sua curva característica *CC*, também designada por “curva de carga”. É determinada por processos numéricos, com vista a obter-se expressões matemáticas que permitam a sua modelação em algoritmos de cálculo. Para este fim utilizou-se um método conceptual que determina a expressão da curva característica da bomba, a partir de três pares de valores (Q_1, H_1) , (Q_2, H_2) e (Q_3, H_3) com base numa técnica de aproximação polinomial.

Assim, considera-se que a curva característica da bomba pode ser aproximada por uma parábola, como a seguir se indica:

$$E_b = AQ^2 + BQ + C$$

sendo:

E_b – Altura de elevação exigida à bomba

Q – Caudal bombeado (m^3/s);

A, B – Coeficientes de regressão;

C – Altura de elevação em vazio (m).

Este método consiste num processo simples de calcular os parâmetros “A” e “B”, conhecendo-se a altura de elevação em vazio “C” e dois outros pares de valores (Q_2, H_2) e (Q_3, H_3). Nestas condições, o parâmetro “B” pode ser determinado pela expressão:

$$B = [(H_3 - C) - (H_2 - C) (Q_3 / Q_2)^2] / [Q_3 - Q_2 (Q_3 / Q_2)^2]$$

Uma vez conhecido o parâmetro “B”, o valor “A” pode ser obtido da seguinte forma:

$$A = (H_2 - C - Q_2 B) / Q_2^2$$

O resultado do cálculo efetuado permite definir a curva da bomba instalada (Quadro 2) para a sua “velocidade genérica” VG (que define o regime de bombeamento correspondente à velocidade nominal de ensaio da bomba, isto é, o que equivale às suas características nominais e normativas). A sua modelação matemática resultou na expressão $Y = -16\,623 Q^2 - 5Q + 97$ [com Q (m^3/s), e Y (m)].

Quadro 2 – Modelação numérica da CC da bomba marca CAPRARI, mod. E10S50/3D+MAC650A-8V

DADOS			PARAMETRIZAÇÃO		
Q (m^3/h)	Q (m^3/s)	H (m)	X1	X2	X3
0	0.000	97	31737.7	-100000.0	51639.3
180	0.050	55	A	B	C
220	0.061	35	-16623	-5	97

CC EB - $Y = AQ^2 + BQ + C$

Quando a bomba trabalha a velocidade variável, comandada eletronicamente por um dispositivo denominado variador eletrónico de velocidade VEV, ela opera a velocidades distintas da nominal respondendo às necessidades do sistema de rega em cada momento. Para determinar o seu funcionamento recorre-se à resolução das equações características estudadas na “Teoria da Semelhança de Turbomáquinas Hidráulicas” (leis de semelhança) (Sousa, 2001), a partir das quais se obtém as seguintes igualdades:

$$Q = (n/n_0) \times Q_0$$

$$H = (n/n_0)^2 \times H_0$$

$$P = (n/n_0)^3 \times P_0$$

Nas quais:

Q – Caudal de referência;

Q₀ – Caudal genérico;

H – Carga de referência;

H₀ – Carga genérica;

P – Potência de referência;

P₀ – Potência genérica.

em que “Q” é expresso em m³/s, “H” em m e “P” possuía a unidade “W” (SI).

Dentro de certos limites da variação do número de rotações, sem que se cometam erros consideráveis, pode admitir-se que o rendimento é constante, obtendo-se assim:

$$P_B/P_{B0} = (H/H_0)^{3/2} = (Q/Q_0)^3 = (n/n_0)^3$$

Onde “n” representa a velocidade de rotação da bomba.

É importante perceber-se que nas expressões apresentadas, “o” representa a variável à velocidade de referência “n_o”, (velocidade nominal ou no ponto de funcionamento pretendido). É a partir das relações anteriores que se consegue calcular as prestações de uma bomba a uma determinada velocidade de rotação. Designando-se por “α” a velocidade de rotação relativa, tem-se que:

$$\alpha = n/n_0$$

Esta equação toma a designação de *razão de velocidade* ou *razão de variação*.

2.7 - Uniformidade de distribuição de água por sistemas de aspersão

A uniformidade de distribuição mede a forma como a água fornecida às plantas se distribui espacialmente.

Já em 1947 Wilcox & Swailes afirmavam que a grande vantagem da aspersão era a uniformidade com que distribuía a água sobre a área irrigada. Para expressar numericamente essa uniformidade, foram propostos diversos coeficientes, de entre eles o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942). Este coeficiente (CUC), foi o primeiro índice proposto, sendo o mais utilizado para quantificação da uniformidade de distribuição de água em irrigação, por aspersão convencional (Rezende et al., 2002). No entanto, Heermann & Hein (1968) propuseram modificação dessa equação para aplicação em sistemas pivô central, gerando o coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein - CUH.

$$CUH = 100 \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_{MP}| S_i}{\sum_{i=1}^n X_i S_i} \right) \right]$$

em que,

CUH - coeficiente de uniformidade de Heermann & Hein (%);

n - número de coletores utilizados na análise de dados;

i - número designado para identificação de um coletor em particular;

X_i - precipitação coletada no i-ésimo coletor (mm);

S_i - distância do i-ésimo coletor ao ponto pivô;

X_{MP} - precipitação média ponderada coletada (mm), dada pela fórmula seguinte.

$$X_{MP} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

Alguns dos fatores que afetam a uniformidade de distribuição são amplamente discutidos: pressão de serviço, bombeamento inadequado, falta de uniformidade de fabricação, variações na linha dos aspersores, espaçamento entre eles, taxa de aplicação, evaporação, velocidade do vento, topografia, altura do tubo de elevação, velocidade de rotação, tensão da mola do aspersor e outros (Hermann *et al*,1992 ; Frizzone & Neto, 2003).

A determinação da uniformidade de distribuição é feita em testes, utilizando-se um ou mais aspersores, dispondo ao seu redor um número suficiente de pluviômetros para que no mínimo 50 recebam água. Tais pluviômetros devem estar regularmente espaçados e captar a lâmina aplicada em um tempo de funcionamento superior a 1 hora ou suficiente para aplicação de 5 mm de lâmina (Frizzone & Neto,2003).

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) é estimado pela fórmula abaixo.

$$\text{CUD} = 100 \left(\frac{\sum_{i=p}^q N_i X_i}{X_{MP} \sum_{i=p}^q N_i} \right)$$

Em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição (%).

$N_i = i - 0,5$

p – número de ordem do primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas.

q – número de ordem da série crescente de lâminas coletadas que faz com que atinja aproximadamente 25% da sua soma total.

3 – Materiais e métodos

3.1 – Localização do ensaio

O estudo foi efetuado numa parcela de terreno da Quinta da Cardiga, com a área de 38,25 ha, beneficiada pela rampa polar estudada.

Esta parcela está localizada no campo ribatejano, perto do município do Entroncamento, no distrito de Santarém, num local designado por “Nateiro da Cardiga”, à beira do Rio Tejo. Situado na sua margem direita, é visível do IC3, do seu lado direito para quem viaja no sentido Golegã-Entroncamento. A charca que abastece o sistema fica quase contígua à rodovia.

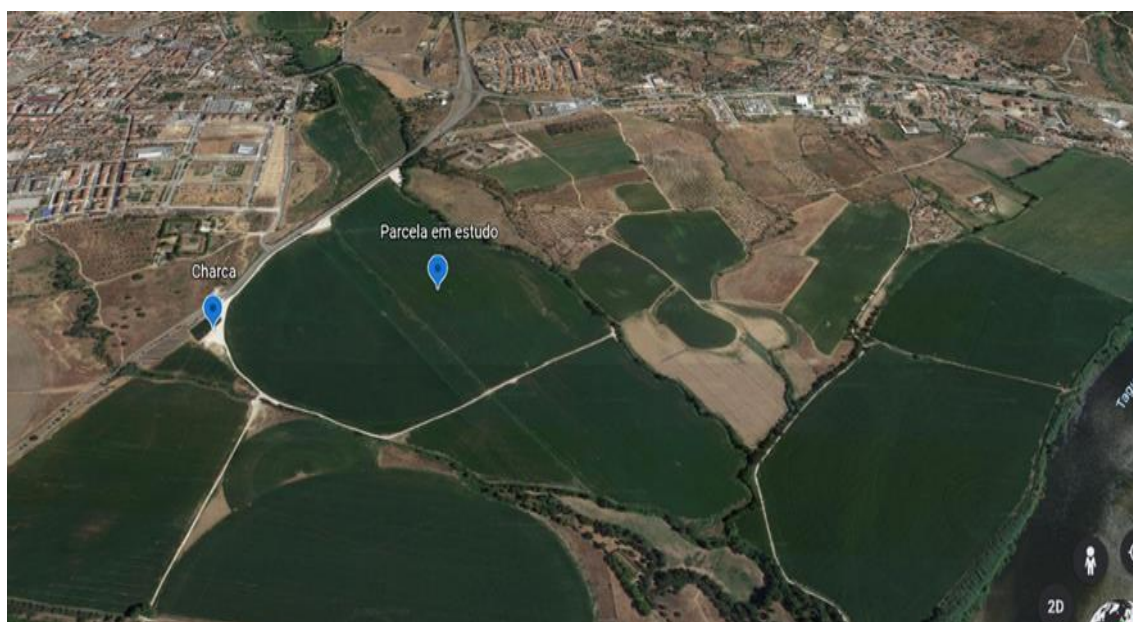


Figura 5 – Parte de Quinta da Cardiga, onde está localizada a parcela em estudo e a charca (Fonte – Google Earth)

A rega é feita por aspersão, através de uma rampa semovente (rampa polar) a uma cultura de milho. O processo de gestão da rega é feito eletronicamente por telemetria com suporte num quadro de comando da rampa de natureza digital.

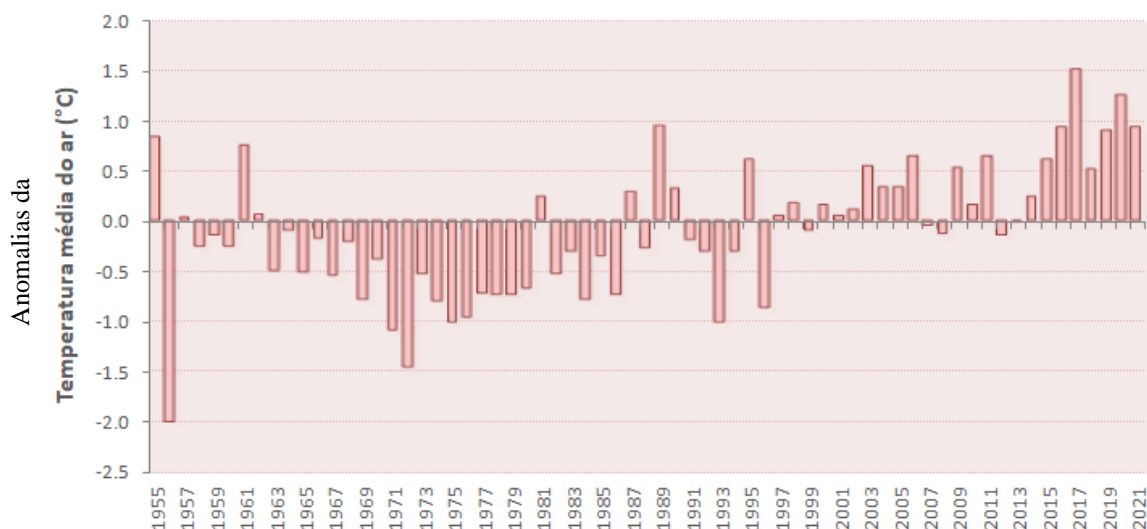
Os volumes de água fornecidos nas regas são conseguidos através do aproveitamento de água subterrânea bombeadas do aquífero do Tejo, através de um conjunto de furos de captação local, que abastecem a charca. Esta infraestrutura de armazenamento possui a capacidade útil de 25 000 m³.

3.2 – Caracterização do clima da região

O clima no local, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (1986), é mediterrânico do tipo CSa (de Verão quente). O local onde decorreu o ensaio está a norte do distrito de Santarém, onde o clima, conforme a classificação de Thornthwaite, se caracteriza por ser sub-húmido seco (mesotérmico – B4), com um considerável superavit de água no Inverno e reduzida eficácia térmica no Verão (Lopes & Marrecas, 2004).

Para análise do clima no Distrito de Santarém, utilizaram-se os valores normais, referentes ao período de 1989 a 2018, recolhidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), na estação meteorológica automática da Estação Zootécnica Nacional, localizada em Vale de Santarém (coordenadas 39° 12' N; 8° 44' O; Alt. 73m), que dista 52 kms. da parcela em estudo.

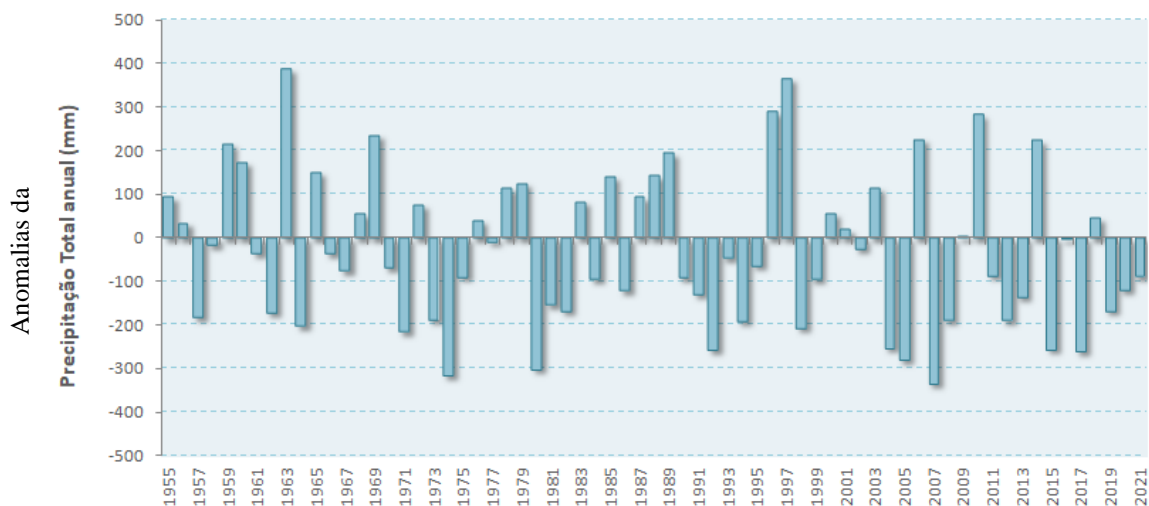
Analisando os dados climáticos do Distrito de Santarém, disponibilizados pelo IPMA, nomeadamente em relação à temperatura, pelo gráfico abaixo, em que no eixo vertical indica as anomalias da temperatura média do ar, verifica-se uma considerável subida de temperatura média anual desde 1997 até ao ano passado (Figura 6).



Fonte: IPMA (Pires, 2022)

Figura 6 – Anomalias da temperatura média do ar em Santarém: 1955 - 2021

No tocante à precipitação, também no distrito de Santarém, na Figura 7, em que no eixo vertical indica as anomalias da precipitação média, constata-se que houve uma diminuição da precipitação anual a partir de 2000.



Fonte: IPMA (Pires, 2022)

Figura 7 – Anomalias da precipitação média em Santarém: 1955 - 2021

De acordo com dados apresentados pelo IPMA, em conferência sobre alterações climáticas na Golegã, em 22/06/29, quanto às alterações observadas do clima atual, desde 1976 em Portugal, no tocante à temperatura do ar, verifica-se que o aquecimento predomina em todas as estações do ano, que há uma tendência para mais ondas de calor e com maior duração, assim como haverá uma diminuição do número de dias/noites frias e um aumento de dias quentes e muito quentes.

Quanto à precipitação, verifica-se um decréscimo na precipitação anual, principalmente na primavera, um aumento da ocorrência de fenómenos extremos de precipitação intensa no outono e a ocorrência de mais secas e de maior duração.

Por isso, o IPMA prevê como cenário futuro um aumento da temperatura, em especial da máxima, uma diminuição da precipitação e um aumento da frequência de secas (Pires, 2022).

3.3 – Caracterização do solo

O solo onde decorreu o ensaio, considerando a classificação da FAO, pertence à unidade pedológica dos Cambisolos Êutricos, de rochas sedimentares pós-Paleozóicas. A sua textura é fina (argilosa – análises granulométricas no anexo I).

3.4 - Metodologia

Antes da elaboração de um guia de auditoria à eficiência de um sistema de rega, procedeu-se a um ensaio dos procedimentos a seguir, numa cultura de milho. Efetuou-se primeiramente a recolha de dados das características pedológicas e à recolha de dados culturais, nomeadamente dados relativos às datas das fases do ciclo da cultura instalada e respetivos coeficientes culturais K_c , profundidade radicular e sobre as constantes de retenção da água no solo. Procedeu-se também, utilizando dados da estação meteorológica mais perto da zona do estudo (EZN), ao cálculo da evapotranspiração de referência ET_0 e, uma vez estimado este valor, procedeu-se de seguida ao cálculo do balanço hídrico, através do modelo ISAREG.

Após cálculo das necessidades teóricas de água da cultura, procedeu-se à medição da água debitada pelos aspersores da rampa polar e do seu lanço suspenso, recolhida em pluviómetros, assim como se efetuou a leitura do contador colocado à entrada de água no pólo da rampa polar, no início e no final da medição, para determinação do volume de água aplicado na rega, anotando-se também o tempo de rega.

Posteriormente, procedeu-se à medição de caudais no contador instalado na entrada de água no polo da rampa polar, e à recolha de volumes debitados pelos aspersores através de pluviómetros colocados junto ao solo. Esta operação foi repetida cinco vezes.

3.5 – A cultura do milho

O milho é um cereal pertencente à divisão das Fanerogâmicas, subdivisão das Angiospérmicas, classe das Monocotiledóneas, ordem das Gramínideas, família das Gramíneas, tribo Maydeae, género *Zea* L. e espécie *Zea mays* L., sendo uma planta herbácea, anual, monocotiledónea e monóica. O seu sistema radicular é fasciculado, possui nó de afilhamento e tem fraco poder de penetração. O caule é um colmo (canolho), meduloso, ereto e não afilha. As folhas são incompletas, invaginantes, com inserção ereta, tendo boa receção de radiação. Quanto à inflorescência, a inflorescência masculina é a panícula, pendão ou bandeira, e a inflorescência feminina é a espiga de espiguetas (maçarocas). A fecundação é cruzada (Amaral, 2020).

A cultura do milho tem origem na América central, tendo a sua domesticação ocorrido no Vale de Tehuacan, no México. Foi introduzido na Europa em finais do século XV e início do século XVI. É a cultura de enorme importância mundial em termos de produção de grão, tendo vindo a aumentar a sua área e rendimento por hectare com o passar do tempo (FAO, 2012).

Em termos edáfico-climáticos, o milho é exigente em água, mas utiliza-a de modo eficiente. O seu período de maior suscetibilidade hídrica verifica-se entre os 20 dias anteriores à saída da bandeira até 10 dias após esta fase. Em média necessita 400 a 650 mm úteis de água (Amaral, 2020).

Conforme as dotações de rega de referência ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) para região sul (englobando o Ribatejo, o Alentejo e o Algarve), estabelecidas pelo método de rega da DGADR, os consumos hídricos de referência para a cultura do milho são de 10 169 $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ para a rega por rampa polar¹.

Quadro 4 - Duração do ciclo total e fases de desenvolvimento, em número de dias da cultura do milho (Allen *et al.*, 1998, adaptado por Pereira, 2004)

Cultura	Fases				Total	Data de Sementeira
	Inicial	Desenvolvimento	Intermédio	Final		
Milho	30	40	50	30	150	Abril

O milho utilizado na cultura em análise foi o híbrido P 0937 da Pioneer, do ciclo FAO 500 CRM 108 (ciclo médio – 1 705°C dia⁻¹), cuja consistência do sistema radicular permite ter uma boa resposta à fertilidade do solo, um rápido crescimento inicial e uma boa capacidade de resposta à cobertura da entrelinha, facilitando o controlo de infestantes, assim como a altas densidades de sementeira. Foi semeado em 21 de maio, com a densidade de 90 000 plantas por hectare, em triângulo, com entrelinha de 12 cm e 14,5 cm de separação entre plantas.

3.6 - Sistema de rega utilizado

A opção pelo método e sistema de rega a utilizar deverá ser em função do tipo de solo, do clima, da topografia do terreno e da cultura, da disponibilidade de água e de energia. No dimensionamento da rede de distribuição torna-se necessário conhecer o volume de água a fornecer no período de maior consumo da cultura. No caso em estudo, a fonte de abastecimento é constituída pela charca alimentada por cinco furos de captação de águas subterrâneas. A estação de bombagem instalada submergida no interior da charca, assim como outros elementos de controlo da instalação, fornecem a pressão e caudal ao sistema, e permite também a incorporação de fertilizantes ao sistema. Pela

¹ Os consumos hídricos de referência para a cultura do milho, estabelecidos pelo método de rega da DGADR, são majorados, por estratégia orçamental.

sua instrumentação, também possibilita a medida de volumes e controlo da pressão de funcionamento do sistema de forma automática (cabeçal de rega), Figura 9.



Figura 9 – Exemplo de um cabeçal de rega

Na parcela em estudo é utilizada uma rampa polar, que tem a composição descrita no quadro seguinte:

Quadro 5 – Composição da rampa polar

Tipo 1	Quantidade(unidades)	L1 (m)	Ø1 (mm)	K1 (mm)
	3	49,12	168	0,015
Tipo 2	Quantidade(unidades)	L 2(m)	Ø 2 (mm)	K 2 (mm)
	3	54,86	168	0,015
Lanço suspenso	L 1 (m)	Ø (mm)	K (mm)	
	16,7	127	0,015	
Aspersor final	R (m)	A (ha)	Q (m³/h)	
	16	3,38	16,54	
L rampa	328,64 m			
R regado	344,64 ha			
A regada	37,3 ha			
Emissores	e (m)	n (un)		
	2,8	117		

Possui os dados técnicos abaixo apresentados.

Quadro 6 - Dados técnicos da rampa polar

Identificação

Proprietário	Sociedade Agrícola Nateiro da Cardiga, Lda
Rampa polar n:	18-P-06
Modelo rampa polar	8120 de 6.5/8" POLY-PIPE
Tipo de rampa polar	Circular

Rampa polar		
Área regada (aproximada) (ha)		38,19
Tempo de rotação (hcm)		07h 48m
Dotação mínima de rega (mm)		3,93
Pressão aspersion final (kg/cm ²)		2,00
Caudais propostos		
(m ³ /h)		142,96
(l/m)		3 207,63
(l/s)		53,46
Perdas de carga (kg/cm³)		
Na tubagem da rampa polar		0,74
Na altura da rampa polar		0,20
Centro da rampa polar ao ponto mais alto		0,60
Pressão ao manómetro da rampa polar	3,5 kg/cm ²	50,52 PSI

Equivalência Velocidade Rotação/Tempo Rotação/Dotação de Rega: 100%=7h48m-3,93mm								
90%	8h40m	4,37mm	60%	12h60m	6,55mm	30%	25h59m	13,10mm
80%	9h45m	4,91mm	50%	15h36m	7,86mm	20%	38h59m	19,65mm
70%	11h08m	5,61mm	40%	19h29m	9,82mm	10%	77h58m	39,29mm

Valores a introduzir para cálculo:	
Raio (mts)	328,64
Lanço suspenso (mts)	16,70
Desnível ao ponto:	
Mais alto (mts)	6,00
Mais baixo (mts)	1,00
Alcance aspersion final (mts)	20,00
Velocidade máxima última torre (mts/min)	4,19
Tubagem:	
Comprimento (mts)	
Diâmetro (mm)	
Altura do manómetro (mts)	2
Caudal (l/seg/ha)	1,40
Tipo motor: novo alta velocidade alta flutuação	4,19 m/min

A rampa polar tem a possibilidade de ser comandada à distância por telemetria.

3.7 – Sistema de bombagem utilizado

De acordo com a metodologia exposta anteriormente no ponto 2.6, foi possível modelar-se o regime de funcionamento da Estação de Bombagem utilizada no sistema de rega em estudo, para as condições reais da instalação.

O sistema de distribuição (estruturas de transporte de água desde a bomba até à rampa polar) foi modelado com recurso à metodologia antes explicada e resultou no Quadro 7 abaixo:

Quadro 7 – Modelação numérica da curva característica (CC) da coluna de impulsão da bomba.

CC - $Y = A + KQ^n$	PARAMETRIZAÇÃO		
	A	K	n
	0	2769	2.0

O gráfico ilustrativo do andamento da relação caudal-carga é apresentado na Figura 10.

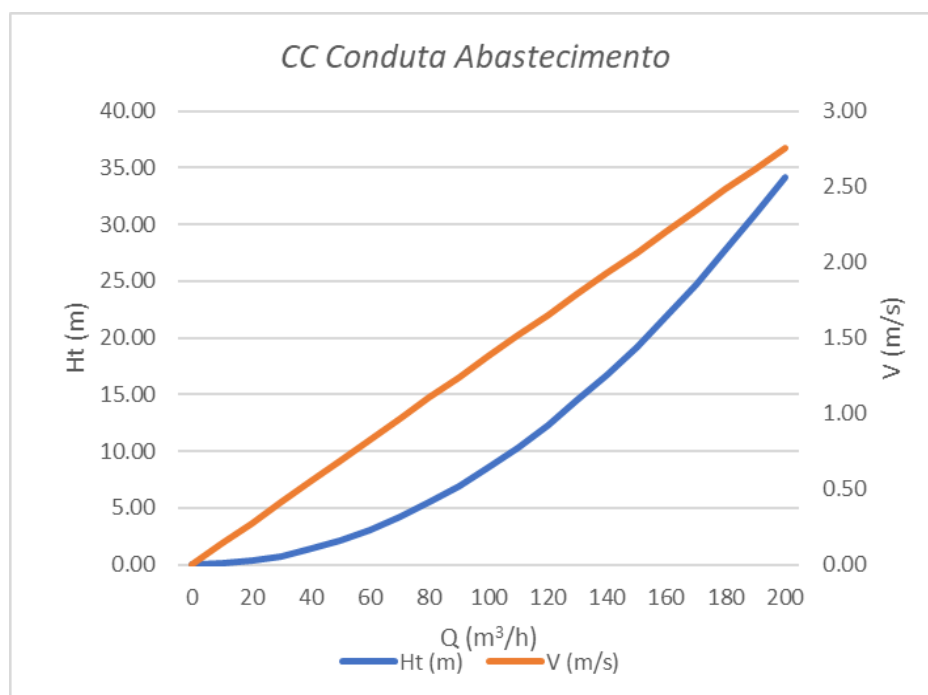


Figura 10 – Gráfico com o andamento da CC do sistema de distribuição.

Para se determinar as condições de exploração da Estação de Bombagem, conjugaram-se as duas CC's no cenário hipotético de a água se encontrar ao Nível Mínimo de Exploração, isto é, quando o seu volume disponível na charca é o mais baixo. Este corresponderá àquele estágio que obrigará a um maior esforço da bomba para elevar a água para o sistema.

Assim, para as condições de exploração:

$$Q = 0.050 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (180 m}^3/\text{h)};$$

$$HT = 35 \text{ m} - \text{valor máximo para operação do sistema};$$

Rendimento da bomba equivalente a cerca de 0,77, consoante características técnicas do modelo fornecidas no anexo.

Quanto ao tarifário de energia, é praticada uma tarifa tetra-horária, com os preços mencionados no Quadro 8.

Quadro 8 – Tarifário de energia

Tetra-Horária	Períodos	super-vazio	vazio	cheia	ponta	TOTAL
	Tempo (h)	4	4	10	0	18,0
	Tarifa (€/kWh)	0,0575	0,0622	0,0695	0,2198	0,0652

Como resultado obteve-se os rácios apresentados de seguida:

Tarifário unitário de energia: 0,0652 €/kWh;

Potência unitária de elevação de água: 0,36 kW/m³,

Custo unitário de elevação de água: 0,023 €/m³.

É importante perceber-se que estes valores se reportam ao cenário acima mencionado e que representam somente a energia ativa. Os custos totais da energia elétrica que o proprietário terá de pagar reportarão ainda a energia reativa e as taxas de exploração comerciais impostas pela entidade fornecedora de energia.

No quadro 9 pode observar-se o cálculo dos custos da energia em função do tipo de ano pluviométrico, neste caso, em ano médio, condicionante do volume total de água utilizado na rega. Neste quadro percebe-se que os custos totais esperados com o consumo da bomba nas condições previstas, rondará os 7 673,74 € em ano médio.

Quadro 9 - Custo esperado com o consumo da bomba-ano médio

CONSUMO DE ENERGIA			
1 -DADOS			
	Fluido - Água		
Peso específico	γ -	9.8	kN/m ³
Volume	V -	329 982	m ³
Carga total	H -	28.4	m
Rendimento	η -	0.78	
Tarifa	C -	0.0652	(€/kWh)
2 -RESULTADOS			
Consumo Energético	E -	117 744.35	kW
	E' -	0.36	kW/m ³
Encargo Energético	ΣE -	7 673.74	€
	C' -	0.023	€/m ³

Por sua vez, nos Quadros 10 e 11, mostram-se os valores totais de energia para os tipos de ano referenciados – húmidos e secos.

Quadro 10 - Custo esperado com o consumo da bomba-ano húmido

CONSUMO DE ENERGIA			
1 -DADOS			
	Fluido - Água		
Peso específico	γ -	9.8	kN/m ³
Volume	V -	288 547	m ³
Carga total	H -	28.4	m
Rendimento	η -	0.78	
Tarifa	C -	0.0652	(€/kWh)
2 -RESULTADOS			
Consumo Energético	E -	102 959.37	kW
	E' -	0.36	kW/m ³
Encargo Energético	ΣE -	6 710.16	€
	C' -	0.023	€/m ³

Quadro 11 - Custo esperado com o consumo da bomba-ano seco

CONSUMO DE ENERGIA			
1 -DADOS			
	Fluido - Água		
Peso específico	γ -	9.8	kN/m ³
Volume	V -	354 443	m ³
Carga total	H -	28.4	m
Rendimento	η -	0.78	
Tarifa	C -	0.0652	(€/kWh)
2 -RESULTADOS			
Consumo Energético	E -	126 472.58	kW
	E' -	0.36	kW/m ³
Encargo Energético	ΣE -	8 242.58	€
	C' -	0.023	€/m ³

Por não se terem conseguido apurar dados sobre os custos dos consumos excessivos de água nas regas efetuadas, nomeadamente sobre os volumes e os custos em energia consumida pelo sistema de bombagem, apresentam-se os cálculos dos custos em energia consumida no bombeio de água em anos de pouca pluviosidade (seco), média pluviosidade (médio) e de muita pluviosidade (húmido), afim de ilustrar a dimensão dos valores em energia a suportar nas três situações de pluviosidade focadas (e das diferenças entre elas), pretendendo-se, assim, dar uma ideia, do valor dos custos incorridos pela ineficiência de rega, que obviamente terão reflexos consideráveis na conta da cultura.

4 – Resultados e discussão

4.1 - Cálculo das necessidades hídricas

Após à análise das características hídricas do solo, para determinar as necessidades de água da cultura e as necessidades de rega através do balanço hídrico, foi utilizado o modelo ISAREG, desenvolvido pelo Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa. Este modelo permite calcular as necessidades de água de rega das culturas com diversos intervalos de tempo e diversas opções de entrada de dados climáticos, de solos e da cultura, permitindo a obtenção de calendários de rega adequados a uma cultura e uma região (Teixeira & Pereira, 1992).

Os parâmetros de rega calculados foram os seguintes:

Quadro 12 – Parâmetros de rega

1 - DADOS					
Cultura	Milho	grao			
Área	A -	38,19	ha		
Tempo de operação diária	Td -	18	h		
Dotação útil	hu -	6,7	mm		
Dose útil de rega	D _{ur} -	7,9	mm		
Eficiência de rega	Ef -	76	%		
Evapotranspiração cultural diária	ETc -	6,7	mm/d		
2 - PARÂMETROS DE REGA					
Dotação real de rega	Hr -	8,8	mm	$Hr = hu/Ef$	
Intervalo máximo de tempo entre regas	D -	d	h	$D = hu/ETc$	
		1,0	18,0		
Caudal total	Q -	m ³ /h	m ³ /s	$Q = (AxHrx10)/(DxT)$	
		187,0	0,0520		
Caudal específico de ponta	Q _e -	m ³ /h/ha	l/s/ha	$Q_e = Q/A$	
		4,9	1,36		
Intensidade de precipitação	i _m -	8,82	mm/h	$i_m = ((QxTd)/A)/10$	
Tempo útil de rega	t -	1,0	h	$t = Hr/i_m$	
3 - CONSUMO DE ÁGUA					
Volume consumido	V -	3366,8	m ³	$V = AxHrx10$	
Tempo total de rega	T -	18,0	h	$T = V/Q$	

4.2 - Avaliação da uniformidade de distribuição da rampa polar

No presente estudo, para cálculo dos débitos dos aspersores da rampa polar, colocaram-se os pluviómetros a uma distância entre eles de 13,5 metros e foram utilizadas 25 unidades, numeradas sequencialmente, a partir do centro da rampa polar.

Na sua colocação, o espaço em redor foi limpo para evitar qualquer interferência na receção da água, assim como o terreno do seu assentamento foi nivelado.

Para avaliação deste tipo de sistema de rega, foi seguida a seguinte metodologia:

- Escolha da zona de ensaio;
- Determinação da velocidade da rampa polar;
- Colocação dos pluviómetros;
- Medição o volume de água aplicada;

Na primeira medição feita a 7/6/2022, o milho tinha 4 folhas e o vento tinha uma velocidade de 18 km/h. A medição demorou 3 minutos e o contador de água instalado na rampa polar registou um consumo de 8,6 m³.

A medição de água recolhida pelos pluviómetros foi a constante no Quadro 13 abaixo.

Quadro 13 – Resultado da recolha de água pelos pluviómetros

Copos	distância ao centro/m	TARA copo g	Medição em g	H2O recolhida mm/h
1	13,5	288,03	303,34	0,015
2	27	288,03	310,43	0,022
3	40,5	288,03	318,93	0,031
4	54	288,03	311,84	0,024
5	67,5	288,03	314,68	0,027
6	81	288,03	311,84	0,024
7	94,5	288,03	316,10	0,028
8	108	288,03	324,60	0,037
9	121,5	288,03	331,69	0,044
10	135	288,03	323,18	0,035
11	148,5	288,03	323,18	0,035
12	162	288,03	331,69	0,044
13	175,5	288,03	324,60	0,037
14	189	288,03	321,77	0,034
15	202,5	288,03	321,77	0,034
16	216	288,03	324,60	0,037
17	229,5	288,03	316,10	0,028
18	243	288,03	316,10	0,028
19	256,5	288,03	324,60	0,037
20	270	288,03	321,77	0,034
21	283,5	288,03	318,93	0,031
22	297	288,03	321,77	0,034
23	310,5	288,03	334,52	0,046
24	324	288,03	331,69	0,044
25	337,5	288,03	362,87	0,075
			Média	0,86
				0,03

Pela Figura 11, resultante da colheita de água efetuada, verifica-se que não há uniformidade de distribuição de água fornecida pelos aspersores, situação que se agudiza no lanço final. Dever-se-ia ter efetuado a medição da pressão e do caudal dos aspersores em diferentes pontos da rampa polar, nomeadamente no seu início, a 1/3 e a 2/3, com um tubo *pitot* equipado com um manómetro, a fim de se medir a água debitada por aspersor e ser feita a comparação com a carta de rega da rampa polar, para confirmar a falta de uniformidade de distribuição de água pela cultura.



Figura 11 – Recolha de água de rega em pluviómetros a 7 de junho

Posteriormente, procedeu-se a novas medições dos débitos de água dos aspersores da rampa polar em 5 e 19 de julho e em 11, 18 e 30 de agosto, tendo os pluviómetros sido colocados no caminho de acesso ao centro da rampa polar, uma vez que a cultura já estava numa fase avançada de desenvolvimento. Por a parte final do lanço suspenso da rampa polar, na zona de colocação dos últimos dois pluviómetros, estar a regar um caminho e uma pequena parte de outra cultura de milho, contígua à parcela em estudo, a sua recolha de água não foi considerada no tratamento gráfico que a seguir se apresenta na Figura 12.

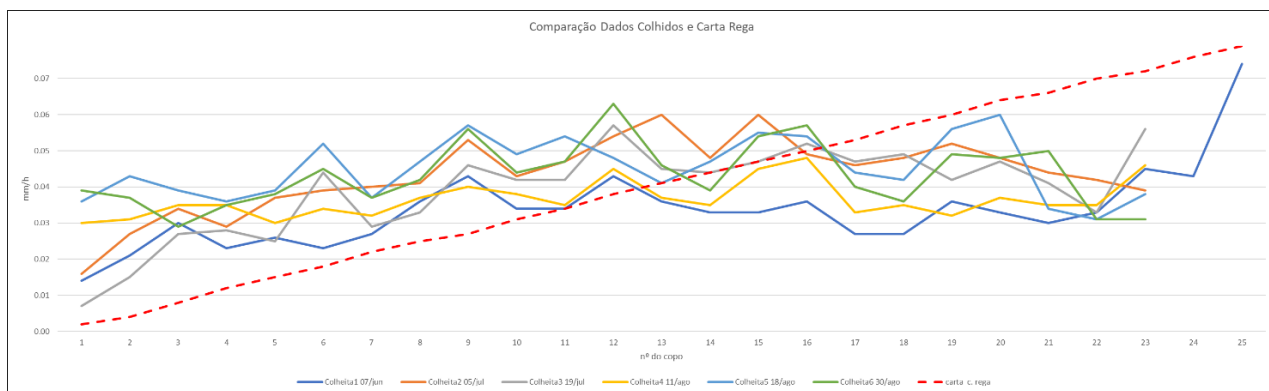


Figura 12 – Gráfico de 6 recolhas de água de rega em pluviômetros

Verifica-se que não há uniformidade de distribuição da água de rega por parte dos aspersores. Tal situação pode ocorrer por as molas dos aspersores estarem pasmadas, devido ao seu período de utilização e/ou à falta de manutenção dos mesmos. Constata-se também que as duas primeiras e as duas últimas torres têm menor pressão que as torres do meio da rampa polar e que a distribuição de água não é coincidente com a distribuição indicada na carta de rega. Eventualmente esta situação também pode ser influenciada pela falta de regulação da pressão imprimida pelo sistema de bombagem, já que os maiores débitos de água, apurados nas colheitas dos pluviômetros, coincidiam com maiores níveis de armazenamento de água na charca alimentadora do sistema de rega. Não foi visionado qualquer manómetro de pressão no sistema de rega.

4.3 – Desempenho das sondas capacitivas TDR

Na cultura em estudo estão colocadas duas sondas capacitivas TDR. Dado que o solo onde está implantada a cultura, na parte norte possui uma superficial camada arenosa, seguida de uma profunda camada de argila e na parte sul é totalmente argiloso, pressupunha-se que as sondas fossem colocadas em cada um destes tipos de solo, quando foram colocadas na ponta noroeste e na ponta norte da cultura, operando no mesmo tipo de solo. Esta colocação indicia que o local escolhido foi o que “atrapalhasse” menos as operações culturais. Também se verificou que as sondas operavam ainda com a calibração standard instalada pelo fabricante (para solo tipo franco arenoso) e não tinham sido calibradas para serem instaladas em solo argiloso.

Apesar da localização e da falta de calibração, os dados recolhidos das sondas (Figura 13) indicam que as regas foram excessivas e que o teor de humidade do solo se manteve quase constante aos 55 cm de profundidade, a ultrapassar ou perto da capacidade de campo C_c , poderá indiciar a existência de um calo de lavoura ou impermeabilização, pois àquela profundidade julga-se que deveria haver um maior nível

de percolação de água e não um teor de humidade quase constante à profundidade de 55 cm.

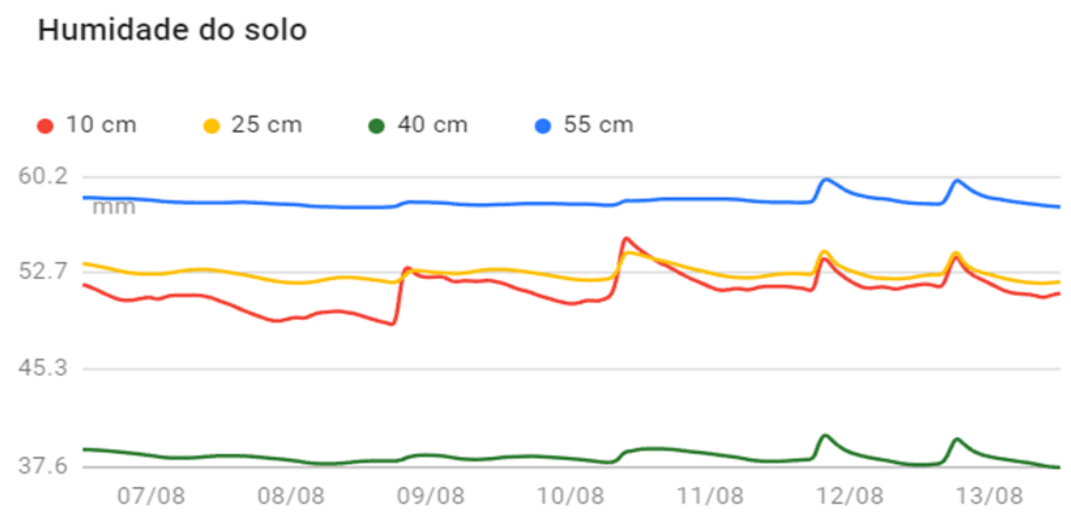


Figura 13 – Sonda TDR – Humidade do solo

Mesmo sem as sondas capacitivas estarem devidamente calibradas, analisando os seus dados com os dados culturais e com o volume das regas aplicadas, constatou-se que houve um significativo excesso de água aplicado durante as regas. É verificável no gráfico da sonda que, em algumas regas, foi ultrapassado o volume recomendado pela sonda (ET_c da sonda), já de si excessivo, como se pode constatar no Quadro 14.

Quadro 14 - Comparação da rega recomendada (ISAREG) e rega indicada pela sonda

Colheitas	Fase cult	Kc's culturais	Et0 real	Etc real	Kcsonda	ET0sonda	Etcsonda	Rega recomendada em mm	Rega efetiva mm	Água em excesso mm	Excesso em m3/ha/ dias fase cultural
07/jun	21/5a11/6	0.65	4.57	2.95	0.55	7.48	4.11	2.95	4.11	1.16	197
05/jul	11/6 a16/7	0.99	5.50	5.44	1.07	8.42	9.01	5.44	9.01	3.57	999
19/jul	16/7 a 25/8	1.10	5.96	6.56	1.1	8.21	9.03	6.56	9.03	2.47	321
11/ago	16/7 a 25/8	1.10	5.76	6.33	1.2	7.56	9.07	6.33	9.07	2.74	630
18/ago	16/7 a 25/8	1.10	5.76	6.34	0.96	8.51	8.17	6.34	8.17	1.83	348
30/ago	5/8 a 22/10	0.99	5.76	5.70	0.92	7.53	6.93	5.70	6.93	1.23	209
TOTAIS								33.32	46.32	13.00	2705

103460 m3

O écran de dados da sonda permitiu ver, de forma interativa, passando o cursor por cima da linha de rega, o volume da rega que havia sido efetivamente disponibilizado e indicava, quase sempre, um volume ligeiramente superior ao indicado como o recomendado pela sonda (ET_c sonda). No entanto, por não apresentar tais valores de forma estática, não se conseguiu recolher uma imagem para comprovar tal facto.

O excesso de rega torna-se mais evidente, quando representado graficamente:

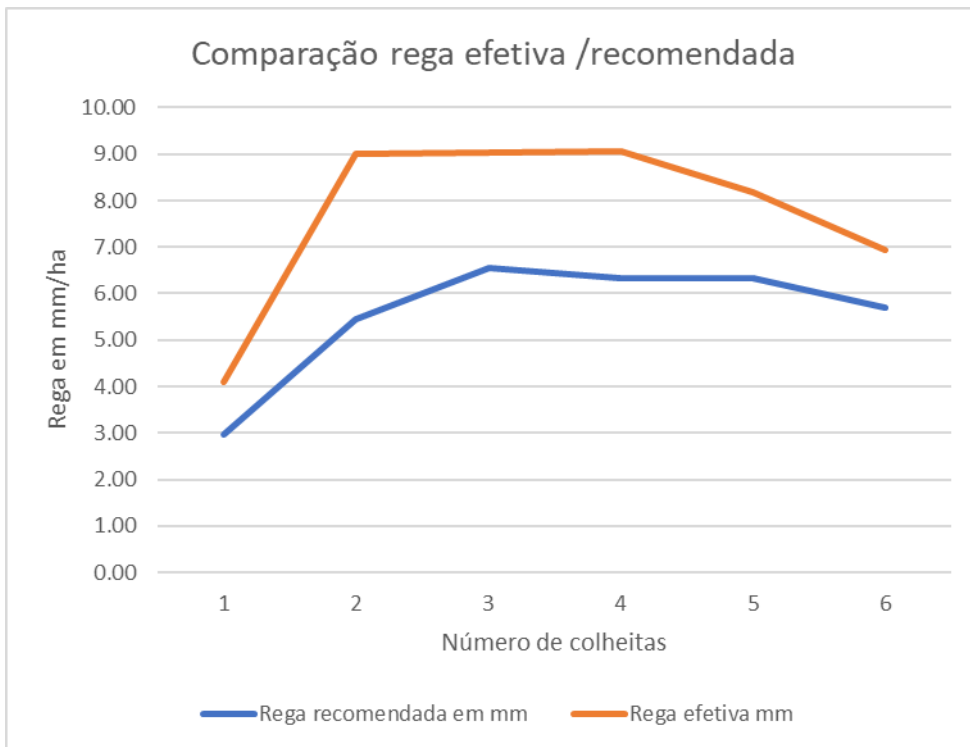


Figura 14 – Rega recomendada (ISAREG) e rega efetiva

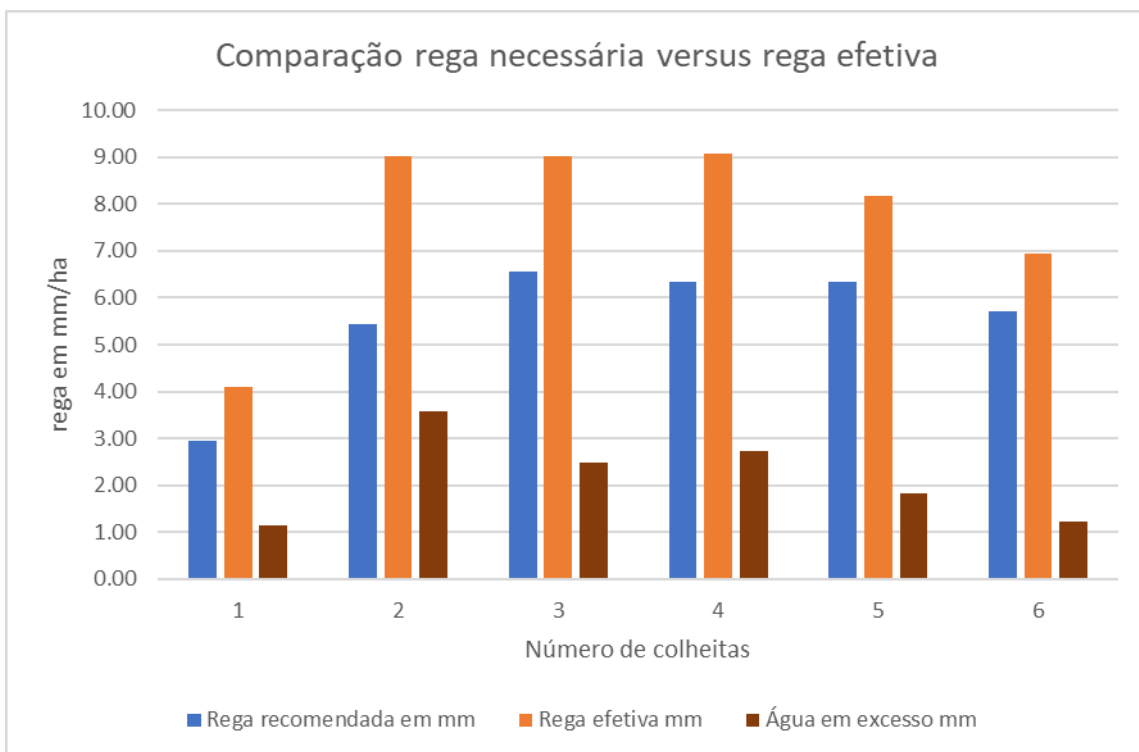


Figura 15 – Rega recomendada (ISAREG) e rega efetiva

4.4 – Desvantagens da falta de eficiência de rega

O excesso de rega implica mais consumo de energia e, conseqüentemente, mais custos de produção. Presentemente, tais custos estão a sofrer um considerável aumento e, por isso, poderão pôr em causa a viabilidade económica da cultura. Para além disso, deverá privilegiar a execução das regas em horas em que o tarifário seja mais barato. Em relação ao caso em estudo, só se teve acesso a uma fatura mensal de todo o sistema de bombagem da quinta, de onde se retiraram os dados possíveis, apresentados no ponto 3.7.

Há também a enfatizar que na cultura em estudo é utilizado o sistema de fertirrega. Ora se as regas foram em excesso, também a fertirrega o foi, com os custos inerentes de fertilizantes a serem majorados sem qualquer proveito prático, para além dos possíveis custos ambientais provocados por poluição difusa.

Refira-se que não se teve possibilidade de efetuar a medição do caudal de uma volta completa da rampa polar (18 h) e que, de acordo com informação do responsável pelo manejo da cultura, houve frequentemente setores regados duas vezes (parte norte), enquanto que outros eram regados uma só vez (parte sul).

No Quadro 15, abaixo, constata-se a variação de caudal, provocado pelo nível de água na charca, assim como a variação da potência absorvida, derivada da inoperacionalidade dos reguladores de pressão da carta de rega.

Quadro 15 - Variação de caudal e gasto energético

DATA	V inicial	V final	Δt segundos	Q m ³ /h	Pabs	KW	Q Carta Rega
7-jun.	964829	964837,6	180	172	21,9	129,12	186,7
5-jul.	15612	15670,3	1305	161	28,9	120,86	186,7
19-jul.	55044	55092	780	222	15,9	166,66	186,7
11-ago.	109763	109797	900	136	31,6	102,1	186,7
18-ago.	124851	124905	1200	162	28,9	121,61	186,7
30-ago.	150535	150597	1200	186	20,5	139,63	186,7

Na Figura 16 é apresentada a variação de caudal face ao caudal previsto na carta de rega.

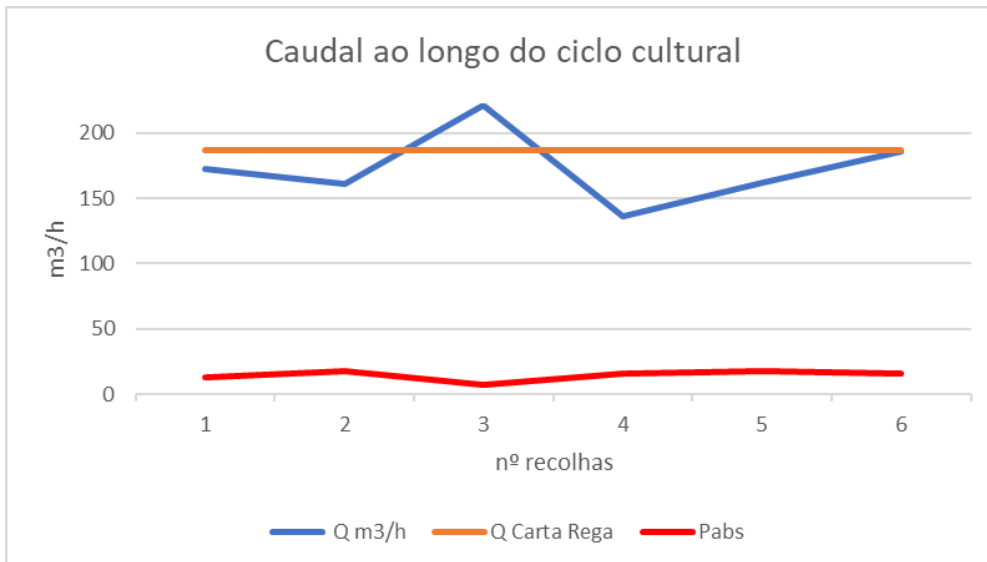


Figura 16 – Variação de caudal e da potência absorvida ao longo do ciclo cultural

Durante as colheitas de água pelos pluviómetros, efetuadas no caminho de acesso ao polo da rampa polar, detetaram-se zonas alagadas durante algum tempo, indiciadoras de rega excessiva (Figura 17). Tal facto é comprovado pelas leituras das sondas capacitivas, que indicaram que o teor de humidade do solo praticamente se manteve inalterável a 55 cm de profundidade.



Figura 17 – Alagamento do solo, após rega

4.5 – Auditoria a um sistema de rega por rampa polar – Proposta de execução

A fim de se identificar eventuais problemas nos sistemas de rega, causadores de ineficiência na aplicação de água às culturas, elaborou-se uma proposta de execução de auditoria a um sistema de rega por rampa polar.

A auditoria a um sistema de rega possibilita:

- Determinar as dotações reais aplicadas, para comparação com a carta de rega;
- Avaliar a uniformidade de distribuição da água de rega;
- Fundamentar a decisão de eventuais intervenções/reparações no equipamento para melhoria do seu desempenho;
- Otimizar os custos associados à rega (água e energia);
- Aumentar a eficiência da fertirrega;
- Aumentar a rentabilidade da cultura.

Neste sentido, conhecer o sistema e avaliar o seu desempenho, previamente à sua normal operação, é essencial. É também um garante de que todos os processos de automatização e controlo serão eficazes na gestão da rega. Não adianta, pois, utilizar tecnologia de ponta ao nível da gestão da rega se não se conhecer o nível de desempenho do sistema de rega que se está a explorar.

Um trabalho de auditoria a um sistema de rega passa, essencialmente, pela medição de caudais, volumes e pressões de funcionamento. Os caudais são medidos pelos contadores instalados ou através de um caudalímetro portátil. Os volumes são recolhidos nos emissores ou em pluviómetros junto ao solo de forma a caracterizar a uniformidade da rega. As pressões são medidas com manómetros de elevada precisão (certificados metrologicamente) ou sensores de pressão em locais estratégicos de forma a identificar eventuais problemas. As metodologias de medição são baseadas em normas internacionais e procuram validar no terreno se os equipamentos se comportam de acordo com as características técnicas indicadas pelos fabricantes.

Previamente ao desenvolvimento dos procedimentos para a realização de uma auditoria, dever-se-ão formular as seguintes perguntas:

- Qual o procedimento utilizado para determinar quando regar e quanta água a aplicar?
- É utilizada a programação de rega baseada na evapotranspiração da cultura (ETc)?

- Como foi estimada a humidade no solo (análise ao solo)?
- Os bicos aspersores da rampa polar fornecem um padrão de aplicação uniforme ao longo de todo o comprimento?
- Os aspersores e bicos estão na rampa polar há mais de sete anos?
- Os tamanhos dos bicos na rampa polar fornecidos pelo vendedor correspondem aos tamanhos dos bicos indicados na carta de rega?
- É verificado anualmente se há fugas de água na rede, se há bicos de aspersores em falta, ou com deficiente movimento giratório?

Posteriormente, deverão ser colhidas amostras de solo, a fim de se analisar as características hídricas do mesmo.

Com o cálculo do balanço hídrico, através do programa ISAREG, determina-se as necessidades de água da cultura e, conseqüentemente, as necessidades de rega e os intervalos de tempo em que esta deve ser concretizada.

Após determinação das carências de rega e do intervalo de tempo em que devem ser satisfeitas, procede-se à avaliação do desempenho da rampa polar. Para tal é necessário proceder às seguintes operações:

- Determinação da área regada;
- Escolha da zona de ensaio;
- Colocação dos pluviómetros;
- Determinação da velocidade da rampa polar;
- Estimativa das perdas por evaporação;
- Medição das pressões e dos caudais nos diferentes locais;
- Medição do volume de água aplicada;
- Medições dos débitos dos aspersores e do lanço final da rampa polar;
- Medição do caudal que alimenta a rampa polar;
- Avaliação da adequabilidade do grupo de bombagem ao sistema de rega;

- Informação das eletrobombas (gestão horas ponta);
- Gestão dos consumos de energia, despiste de erros de faturação;
- Comparação de prescrição de rega vs rega efetuada.
- Comunicação on-line com o sistema de rega.

Para avaliação deste tipo de sistema de rega, dever-se-á seguir a seguinte metodologia. O ensaio deverá ser realizado quando a cultura estiver no seu início de desenvolvimento ou quando o solo estiver nu. A avaliação deve ser concretizada quando a rampa polar estiver numa posição o mais horizontal possível, em que o desnível entre o polo inicial e a última torre for o menor possível. Quando a cultura estiver já numa fase avançada de desenvolvimento, os pluviómetros deverão ser colocados no caminho de acesso ao centro da rampa polar, devendo o mesmo ser limpo de eventuais infestantes, para não interferirem na receção da água pelos pluviómetros.

Formulário de Campo

Caraterização geral

Proprietário:	
Localização:	
Área:	Data: / /
Cultura	Profundidade da raiz m

Solo

Caraterização físico-química do solo, através de análise sumária e bases de troca

Parâmetro	Descrição
Textura de campo	
pH (água)	
Matéria orgânica (%)	
P ₂ O ₅ (mg/kg)	
K ₂ O (mg/kg)	
Calcário total (%)	
Cálcio (mg/kg)	
Magnésio (mg/kg)	
Ca ²⁺ (me/100g)	
Mg ²⁺	
K ⁺ (me/100g)	
Na ⁺ (me/100g)	
Capacidade de troca catiónica (me/100g)	

Capacidade de campo-CC	%
Ponto de Emurchecimento Permanente-PEP	%
Água utilizável-U	%
Densidade aparente-Dap	
Água facilmente utilizável- Cfu	%
Cota de referência - ZO	m
Cota de referência - ZMAX	m

Regas

Frequência	
Duração	h
Dotação Pretendida	mm

Composição da rampa

Torres

Tipo 1	Quantidade(unidades)	L1 (m)	Ø1 (mm)	K1 (mm)
Tipo n	Quantidade(unidades)	L n (m)	Ø n (mm)	K n (mm)
Lanço suspenso	L 1 (m)	Ø (mm)	K (mm)	
Aspersor final	R (m)	A (ha)	Q (m³/h)	
L rampa	m			
A regado	ha			
Emissores	e (m)	n (un)		
Canhão	Alcance (m)	Diâmetro (mm)		

Medição do Caudal e da Pressão - À entrada do sistema

Caudal-Medidor volumétrico	Volume inicial	m³
	Volume final	m³
	Tempo de medição	(hh:mm:ss)
Caudal do catálogo		m³/h
Medição da pressão		bar
Pressão do catálogo		bar

- Nos aspersores

	Pressão (bar)	Bico 1		Bico n	
		Volume (l)	Tempo (s)	Volume (l)	Tempo (s)
No início					
1/4					
3/4					
No final					

Vento

Direção	Inicial	
	Durante	
	Final	
Velocidade	Inicial	m/s
	Durante	m/s
	Final	m/s

Evaporação

Pluviómetro de evaporação 1	Inicial	mm
	Final	mm
Pluviómetro de evaporação n	Inicial	mm
	Final	mm

Volumes medidos nos pluviómetros ao longo do raio

Distância do 1º pluviómetro ao centro da rampa polar	m
Duração do ensaio	hh:mm:ss
Distância entre pluviómetros	m
Diâmetro dos pluviómetros	cm

Torre nº	Posição no raio		Volume recolhido (mm)
	1		
	2		
	n		

Relatório de Avaliação do Desempenho da Rampa Polar

Caraterização geral

Proprietário:	
Localização:	
Área:	Data: / /

Equipamento

Rampa polar nº		Tipo de rampa polar	
Marca:		Modelo:	
Comprimento:	m	Setor Regado:	graus
Área regada:	ha	Tipo de emissor:	

Resultados/Medições

Caudal de entrada no sistema	Catálogo:	m ³ /h	Medido:	m ³ /h
Caudal unitário	Catálogo:	m ³ /ha	Medido:	m ³ /ha
Pressão à entrada do sistema	Catálogo:	bar	Medido:	bar
Pressão no final	Catálogo:	bar	Medido:	bar
Velocidade percentual	Programada:	%	Medida:	%

Espaçamento entre pluviómetros:	m
Velocidade do vento:	km/h
Direção do vento face ao ensaio:	

Dotação

Dotação aplicada em função da velocidade programada:	mm
Dotação aplicada (em função do caudal médio):	mm
Média ponderada das alturas de água recolhidas:	mm
Média ponderada das alturas de água recolhidas no quartil mínimo:	mm

Área de rega

Superfície com rega uniforme (recebe uma dotação média superior a 85% e inferior a 95% da dotação média ponderada residual):	ha	%
Superfície com rega pouco uniforme (recebe uma dotação média superior a 95% da dotação média ponderada recolhida):	ha	%
Superfície com rega pouco uniforme (recebe uma dotação média inferior a 85% da dotação média ponderada recolhida):	ha	%
Eficiência de descarga:		%
Uniformidade de distribuição:		%
Coeficiente de uniformidade:		%

Dados individuais por bomba

Superfície regada (ha)*	
Volume bombeado (m ³)	
Altura fornecida (m)	

*Somente no caso de ser usada na irrigação e da área regada depender exclusivamente da bomba

Dados gerais de energia

Energia elétrica

Referência Contrato - identificação	
Tarifa	
Discriminação horária	
Tensão de alimentação (kV)	
Potência contratada (kW)	
Potência contratável (kW)	
Equipamento alimentado	
Horário de funcionamento	
Potência do equipamento (kW)	
Consumo (kW)	

Caso seja desconhecido o consumo individual de cada equipamento, será contabilizado o consumo total do equipamento fornecido pelo mesmo contrato.

Quanto às bombas, verificar se tem sido feita uma manutenção frequente, essencialmente dirigida aos seguintes aspetos:

Tarefas	Periodicidade
Verificação de vibrações	Mensal
Verificação de caudal de fuga no empanque	Semanal
Verificação do nível de óleo dos rolamentos	Semanal
Verificação de pressões (condições de serviço)	Diária
Verificação de alinhamento	Trimestral
Verificação de consumos no motor	Mensal
Verificação do estado de acoplamento	Trimestral

Data	Vol.inic.	Vol. fin.	Δt seg.	Qm³/h	P abs	kW	Enc.€/h	Enc.por h

Consumo de energia

Dados			
Fluido	Água		
Peso específico	γ-	kN/m³	
Volume	V-	m³	
Carga total	H-	m	
Rendimento	η-		
Tarifa	C-	€/kWh	
Resultados			
Consumo energético	E-	kW	$E=(\gamma VH)/\eta$
	E'-	kW/m³	$E'=E/V$
Encargo energético	ΣE-	€	$\Sigma E=EC$
	C'-	€/m³	$C'=\Sigma E/V$

Q		Ht	η	γ	Pabs	C	Pind	Pinst		Tarifa
(m ³ /h)	(m ³ /s)	m	%	(N/m ³)	(kW)		(kW)	(kW)	cv	€/kw/h

Tarifário de energia

Tarifa tri-horária	Períodos	Vazia	Cheia	Ponta	Total	
	Tempo (h)	8	12	4	24	
	Tarifa (€/kWh)					
Tarifa treta-horária	Períodos	Super vazia	Vazia	Cheia	Ponta	Total
	Tempo (h)	4	4	10	6	24
	Tarifa (€/kWh)					

Descrição dos resultados da auditoria: _____

Conclusões: _____

Recomendações: _____

5 – Conclusões

5.1 – Acompanhamento da cultura de milho

Verificou-se comprovadamente que houve regas excessivas na cultura em estudo. No entanto, não foi possível apurar a sua quantificação e, mais importante, a sua valoração exata, por impossibilidade de recolha de todos os dados necessários para o efeito. Mesmo nos equipamentos acessíveis, como o contador volumétrico e reguladores de pressão colocados à entrada do polo da rampa polar, o vidro de cobertura está sujo e com carbonato de cálcio, facto que impediu fazer leituras nos outros medidores e relógios (Figura 18). Verificou-se ainda que os reguladores de pressão dos aspersores estão a funcionar deficientemente ou não estão mesmo a funcionar.



Figura 18 – Contador volumétrico

Em finais de agosto, provavelmente devido às altas temperaturas que se fizeram sentir nessa altura, foi constatado na charca a situação de eutrofização patente na Figura 19.

Geralmente a eutrofização advém de problemas de poluição que, por percolação, acabam por contaminar os lençóis freáticos que abastecem os furos artesianos.



Figura 19 – Charca - Eutrofização

Também o impacto da água no solo diminui a capacidade de infiltração no mesmo, originando maior evaporação, em detrimento do maior aproveitamento da água de rega pelas raízes, com os inerentes custos.

Dado que os gastos da energia consumida durante a rega são uma das principais componentes de custos da cultura, verificou-se também que rega a mais, mais energia consumida e, conseqüentemente mais custos de produção. Por não haver um contador específico para controlar os consumos de energia do sistema de rega da cultura em estudo, efetuou-se uma demonstração de como tais custos poderiam onerar uma cultura em anos seco, médio e húmido, a fim de se poder evidenciar o peso da energia nos custos de produção.

No tocante ao sistema de bombagem, quanto maior for a eficiência da bomba (verificável no gráfico da curva característica da bomba – Figura 10)), menos potência é absorvida (Pabs). A eficiência energética foi menor devido à desregulação do sistema de bombeamento e devido, também, à insuficiência do desempenho dos reguladores de pressão da carta de rega.

O regulador de pressão demonstrou não estar a funcionar bem, uma vez que o caudal de água bombeada aumentava ou diminuía de acordo com o aumento ou diminuição do nível de água depositada na charca, e não mantinha uma pressão constante ao longo das regas. A Pabs variou inversamente ao caudal, aumentando quando a charca estava a um nível mais baixo, sendo bombeado um caudal menor (Quadro 15, Figura 16). As

rotações da bomba aumentaram, aumentando, conseqüentemente, a Pabs. Este caudal deveria ser constante dentro da rampa, com o valor de 186,7 m³/h.

Também se verificou, através das várias recolhas de água de rega pelos pluviómetros, que não há uniformidade de distribuição de água durante as regas, havendo uma grande disparidade em relação à carta de rega.

As sondas capacitivas, para além da sua má localização, que não permite usar o conhecimento dinâmico da água no solo, não estão calibradas para operarem num solo argiloso, mantendo a sua calibração de origem (solo franco arenoso). Também o fabricante não forneceu a constante matemática para cálculo da curva de calibração.

Certamente não fará sentido utilizar uma sonda de humidade no solo se o sistema de rega tiver baixa uniformidade, isto é, que aplique água de uma forma heterogénea, pois a informação recolhida será pouco fidedigna para apoio à decisão da condução da rega. Verifica-se assim que a uniformidade condiciona fortemente a gestão da rega pois, ou se aplica água e nutrientes em excesso para satisfazer as zonas deficitárias, gerando ineficiência (ou seja, perdas na restante área) ou se aceitam prejuízos na produção nas zonas menos favorecidas. Em muitos casos só se identificam estas zonas quando é já observável um decréscimo de produção.

Neste caso específico, prova-se inequivocamente que os dispositivos reguladores de pressão, que equipam a carta de rega estão inutilizados pela fadiga mecânica das molas, resultado de 5 anos de utilização sem manutenção. Mas se hipoteticamente esta hipótese da desregulação dos reguladores de pressão não estiver correta, então poder-se-á concluir que a carta de rega foi mal dimensionada.

Pelo resultado obtido no primeiro ensaio realizado para aferir a uniformidade de distribuição dos aspersores da rampa polar, constata-se, pela água recolhida nos últimos pluviómetros, coincidentes com o lanço final, uma maior desconformidade com a carta de rega. Tal facto confirma que não se devem adotar soluções que passem pela instalação de aspersores finais, pois geralmente servem para “desenrascar” problemas técnicos ou obter soluções mais económicas de instalação da rampa polar, mas com custos de desperdício de água de rega (e energia) ao longo da sua vida útil. Por isso, deve-se contrariar a tendência comercial de aplicação dos aspersores finais e privilegiar a aplicação de soluções que se revelem mais económicas a médio e longo prazos.

5.2 – Auditoria a um sistema de rega por rampa polar

Um dos problemas mais graves que atualmente se põem na gestão de água de rega é a falta de acompanhamento dos sistemas de rega após a sua instalação. A auditoria a um sistema de rega consiste em verificar se o que foi projetado está, de facto, a funcionar no terreno, segundo o que foi determinado em projeto, pelo que é de todo vantajoso realizar uma auditoria mesmo em sistemas a estrear. No caso do sistema por rampa polar, os principais problemas encontrados dizem respeito sobretudo a desgaste da carta de rega, alterações inadequadas da mesma ou problemas ao nível da bombagem (Nunes *et al*, s/d). Após a conceção e instalação de um sistema de rega, muitas vezes feita com base em determinados pressupostos, nem sempre verdadeiros, não há, regra geral, verificação do ajuste da solução escolhida à situação real da exploração e muito menos, à correção das anomalias verificadas, de modo a permitir o melhoramento do sistema de distribuição de água e, conseqüentemente, a sua eficiência, fazendo aumentar o rendimento da água por unidade de produção.

Uma auditoria deve contribuir para que se conheçam as necessidades hídricas das culturas e que os sistemas de rega tenham a capacidade de aplicação da água de uma forma eficiente e eficaz, para as satisfazer.

5.3 – Perspetivas futuras

Água - um bem a preservar, um custo a rentabilizar

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente, é imperioso tornar o uso da água na agricultura o mais eficiente e sustentável possível. Por isso, mediante a adoção de práticas agrícolas corretas, se necessário impostas por políticas públicas conexas, é possível obter ganhos de eficiência significativos na utilização de recursos hídricos na agricultura, o que permitirá dispor de mais água para outras utilizações, especialmente para a natureza.

Este organismo europeu defende também uma maior intervenção estatal, através da adoção de políticas públicas que imponham práticas de irrigação mais eficiente, com vista a “obrigar” o setor agrícola a assumir uma atitude mais responsável perante a sociedade e o ambiente em relação ao consumo de água. Presentemente, as políticas de preços de água não “forçam” os agricultores a praticarem uma utilização eficiente de recursos hídricos, uma vez que raramente pagam o preço real da água utilizada, facto que inevitavelmente tem reflexo nos custos ambientais. Para além da modificação das técnicas de irrigação, é igualmente possível obter ganhos em matéria de poupança na utilização e nos custos da água através de programas de formação e de partilha de

conhecimentos, que permitam familiarizar os agricultores com práticas mais eficientes de utilização da água (Agência Europeia do Ambiente, 2021).

Em termos políticos, o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) e diversos programas operacionais (POPH e outros) têm promovido o uso eficiente da água na agricultura e incentivado, através de subsídio, a aquisição de novas tecnologias e a prática de novas metodologias que permitam potenciar os resultados das culturas. Das 87 medidas preconizadas no PNUEA, 23 eram destinadas à agricultura. Também as políticas ambientais, em resposta à pressão de uma opinião pública, cada vez mais esclarecida e reivindicativa, vão no sentido de minorar os consumos humanos, para disponibilizar mais água para a natureza.

Não basta programas a subsidiar a aquisição de novas tecnologias para a agricultura, há que se fazer a transmissão do conhecimento sobre a utilização dessas tecnologias aos agricultores, senão tornam-se obsoletas. Por isso, a atribuição dos subsídios não deve ser desencadeada só pela aquisição dos equipamentos, mas sim pela sua aquisição e formação do utilizador/agricultor.

A Direção Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural alerta para os casos em que a aplicação da água à parcela é feita de forma tecnicamente deficiente, os custos ambientais são evidentes, na medida em que os excessos da dotação fornecida se perdem por escoamento superficial ou infiltração profunda, implicando no primeiro caso fenómenos erosivos (mesmo se incipientes) e, no segundo, poluição dos lençóis freáticos provocada pelo arrastamento de nutrientes e de substâncias ativas de agroquímicos (DGADR, 2014). Mas deveria de caber a este órgão estatal e aos seus órgãos periféricos a responsabilidade de realização de ações formativas junto dos agricultores para minorar tais situações.

O PNUEA articula com o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), que na atividade agrícola, tem a sua maior expressão no regadio. O uso de energia, principalmente elétrica, constitui um fator de produção em regadio com alguma expressão nas contas de cultura, principalmente com o crescente aumento dos custos da energia. São sobretudo as estações elevatórias de água para rega os principais consumidores de energia.

A eficiência do binómio água e energia é uma prioridade do Programa Nacional de Regadios 2018-2023, sendo uma componente fundamental para a gestão dos Aproveitamentos Hidroagrícolas, sistemas que envolvem a captação, o transporte, a distribuição e a utilização de elevados volumes de água. A evolução para um padrão de

utilização mais eficiente da água no regadio tem sido feita em parte através da criação de sistemas em pressão, nos quais o consumo de energia pode ser bastante significativo (Sampaio et al, 2019).

Quanto à questão de saber se existe escassez de água em Portugal, concluiu-se que, contrariamente à ideia generalizada de que há escassez de água no nosso país, estima-se que anualmente em Portugal sejam utilizados, por todos os sectores, apenas 20% dos recursos totais disponíveis, de águas superficiais e subterrâneas. Destes, a agricultura é responsável pelo consumo de cerca de 80%. No entanto, foi entendido como consensual que existe um problema nacional de gestão de água que resulta do facto de haver escassez de água nos meses do ano em que ela é mais necessária para as culturas. O verdadeiro desafio reside em conseguir disponibilizar a água onde e quando é precisa, colocando-se dificuldades para a sua concretização sobretudo ao nível das estruturas disponíveis para a gestão dos recursos hídricos. Em Portugal, essas dificuldades prendem-se em grande parte com o deficiente planeamento e conceção das estruturas de rega, que nem sempre é a mais adequada à utilização agrícola que se pretende fazer, originando desperdícios dos recursos nacionais (INE, 2011).

Por último, face à evolução tecnológica da atividade agrícola e à urgência de tornar a utilização da água mais eficiente, torna-se evidente a necessidade de facultar aos agricultores ações de formação, orientadas para a sua “alfabetização digital”, utilizando meios de ensino que contornassem a sua “crónica” falta de tempo para tal, e facultando incentivos para a sua frequência (monetários ou mesmo fiscais). Estas iniciativas deveriam ser implementadas pelos órgãos centrais da tutela e operacionalizadas pelos seus órgãos periféricos, em conjunto com as associações representativas dos agricultores.

6 - Bibliografia

Agência Europeia do Ambiente (2021), *A Água na Agricultura*.
<https://www.eea.europa.eu/pt/articles/a-agua-na-agricultura> .

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO. Roma.

Almeida, D. (2004). *Principais Técnicas da Produção Agrícola*. Escola Superior de Biotecnologia – Universidade Católica Portuguesa.

Amaral, A. (2020), *Culturas Arvenses (a cultura do milho grão)*, powerpoint, Escola Superior Agrária de Santarém.

Barrett, J., Vinchesi, B., Dobson, R., Roche, P., Zoldoske, D. (2003). *Golf Course Irrigation. Environmental Design and Management Practices*. 1ª edição, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.

Cardoso, C., Bessa, M.T., Marado, M.B. (1971), *Atlas do Ambiente. Carta de Solos*, Secretaria de Estado do Ambiente, Comissão Nacional do Ambiente.

Carvalho, D. F., Silva, L. D. B. (2006). *Hidrologia*. Capítulo 5 – Infiltração. Universidade Estadual Paulista, p. 60-80.

Christiansen, J.E. (1942), *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: University of California, Bulletin 670, p 124p.

COTR, (s/d), *Guia de Rega, Protocolo de Auditoria Energética*, Centro operativo e de Tecnologia de Regadio, Beja.

Dias, F., Correia, C. (2020), *O uso da água em Portugal*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (2014), *Estratégia para o Regadio Público 2014-2020*.

FAO (2002) *Prácticas de riego deficitario. Informes sobre el agua* Nº 22. Roma.

FAO (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Estudio FAO: Riego y Drenaje 66. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma.

Freire, Dulce (s/d), *Entre sequeiro e regadio. Políticas públicas e modernização da agricultura em Portugal (século XX)*. Instituto de Ciências Sociais, Universidade de Lisboa.

FENAREG (2018), *Estratégia de longo prazo para o regadio em Portugal*, XI Jornadas FENAREG, Encontro Regadio 2018, www.fenareg.pt/fenareg-propoe-estrategia-de-longo-prazo-para-o-regadio-em-portugal/ 2/3.

FENAREG (2019), *Contributo para uma Estratégia Nacional para o Regadio – Principais Dimensões*.

Frizzone, J.A., Neto, D.D. (2003), *Avaliação de sistemas de irrigação*. In: Miranda, J.M. Pires, R.C. M (Org.). *Irrigação*. Jaboticabal: FUNEP, v. 2, p. 573-651.

Fundación San Valero, (S/D), *Manual de Formação para o Uso Eficiente da Água*, Associação de Desenvolvimento da Região do Alto Tâmega, Outeiro Seco.

Heerman, D. F.; Hein, P. R. (1968), *Performance characteristics of self propelled center pivot sprinkler irrigation system*. Transaction of the ASAE, Saint Joseph, v. 11, n. 1, p. 11-15.

Hermann, D., Wallender, W., Bos, M. (1992) *Irrigation efficiency and uniformity*. In: Hoffman, G., Howell, T., Solomon, K.H, *Management of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASAE, cap 2.

<http://api.ipma.pt/#> - Serviço online com dados de observação e previsão.

<https://www.ipma.pt/pt/agrometeorologia/smi/> - Produtos agrometeorológicos.

<https://www.ipma.pt/pt/oclima/observatorio.secas/> - Indicadores seca.

<http://mf2.ipma.pt/continent> - Ferramentas de exploração de dados para apoio à tomada de decisão.

<http://portaldoclima.pt/pt> - informação de séries históricas, e projeções climáticas a nível regional e indicadores climáticos para setores específicos.

INE (2011), *O Uso da Água na Agricultura 2011*, Instituto Nacional de Estatística, IP, Lisboa.

Lencastre, A. e Franco, F. M. (1984) - *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.

Lopes, N., Marreca, P. (2004), *Cartografia de risco de incêndio florestal*, Relatório do Distrito de Santarém.

Nunes F., Mendes J. (2015), *Auditoria a Sistemas de Rega*, COTR - Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Portal Agronegócios. EU.

Nunes, F., Oliveira, I., Fabião, M. (s/d), *Avaliação da rega por aspersão – pivots*, COTR – Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Beja.

Oliveira, M.M. (2004), *Recarga de águas subterrâneas: Métodos de avaliação*. Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 440 pp.

Oliveira, M.M. (2006), *Uma metodologia para avaliação da recarga natural de águas subterrâneas. Aplicação à área dos sistemas aquíferos de Quarteira e de Albufeira-Ribeira de Quarteira (Algarve)*. Lisboa: ICT/Hidráulica - INCH 8 - ISBN 972-49-2075-5, LNEC.

PDR2014-2020 (2015), Orientação técnica específica nº 4/2017.

- Pereira, L.S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Mem Martins: Publicações Europa-América, Lda, pp. 312.
- Pires, Vanda (2022), *Eficiência do uso da água na fileira dos cereais*, IPMA (vanda.cabrinha@ipma.pt).
- Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (2012), Agência Portuguesa do Ambiente, IP.
- Ramos, P. (2011). *Balanço Hídrico e perda de solo em pastagens*. Mestre. Instituto Superior Técnico
- Raposo, J.R. (1989). *A rega em Portugal*. Lisboa: Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, Secretaria de Estado da Agricultura.
- Raposo, J. R. (1994). *A Rega por Aspersão*. 2ª ed. Lisboa: Clássica Editora, pp. 358.
- Raposo, J. R. (1996). *A Rega. Dos Primitivos Regadios às Modernas Técnicas de Rega*. 2ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 469.
- Rede Rural Nacional (2019), *O Regadio no Desenvolvimento Territorial*, Em Rede nº 9, Revista da Rede Rural Nacional, www.rederural.pt,
- Rezende, R. (1992), *Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto à uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo*. Piracicaba, Universidade de S. Paulo, p. 86.
- Saldanha, F. Jerónimo, L. (2020), *O Uso da Água em Portugal*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Selborne, R. (2002). *A ética do uso da água doce*. Brasília. Unesco.
- Serafim, A. (1994). *Sobre a implantação de rampas polares. Alguns aspectos em análise e síntese*. Dissertação a obtenção de grau de Doutor em Eng.ª Agronómica. I.S.A.-U.T.L., Lisboa.
- Shahidian, S. (2012). Gestão da Água no Regadio, Cap. 9, in: *Hidrologia Agrícola*. (S. Shahidian, R. Guimarães, C. Rodrigues, eds.), ICAAM – ECT Universidade de Évora, p. 225-243.
- Silva, F. G. (2016), *O Grande Utilizador de Água - Futuro do Regadio*. Comunicação no âmbito do “COPPA2 – 2ª conferência sobre políticas públicas da água”, promovido pela APRH.
- Sobral, S. (2009), *Medidas de Poupança e Eficiência Energética na Agricultura*, Workshop Uso Eficiente da Energia no Regadio, ARECBA.
- Sousa, E.R. (2001), *Sistemas De Distribuição de Água*, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Instituto Superior Técnico.
- Teixeira, J.L., Pereira L.S. (1992), *ISAREG, an irrigation scheduling model*, ICID Bulletin 41 (2), p 29-48.

UNDESA (2011). *World Population Prospects: The 2010 Revision*. United Nations Department of Economic and Social Affairs. Disponível em <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>. Acesso a 6/06/2018


Wilcox, J.C.; Swailes, O.E. (1947), *Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinkler*. *Scientific Agriculture*, v.27, n.11, p.563.

Cibergrafia

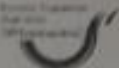
https://www.eea.europa.eu/pt/articles/a-agua-na-agricultura_4/ (consultado em 5 de setembro de 2022)

ANEXO

Análise de solo - poços 1 e 2



INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA DE SANTARÉM



ANÁLISE DE TERRA

Departamento de Ciências Agrárias e Ambiente
- Unidade Laboratorial -

DCAA-UL
 Estágio Mestrado - Odete/Nicolau
 Eng.ª Malinda

Referência da Laboratório	Referência da Amostra	Entrada	Saída
494	Poço 1	07/03/2022	21/3/2022

ANÁLISES	Resultados	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Textura de Campo						
pH (H ₂ O)						
Materia Orgânica (%)						
Fósforo assimilável (mg kg ⁻¹)						
Potássio assimilável (mg kg ⁻¹)						
Calcário Total (%)						
Cálcio assimilável (mg kg ⁻¹)						
Magnésio assimilável (mg kg ⁻¹)						
Ferro extraível (mg kg ⁻¹)						
Cobre extraível (mg kg ⁻¹)						
Zinco extraível (mg kg ⁻¹)						
Manganês extraível (mg kg ⁻¹)						
Boro extraível (mg kg ⁻¹)						
Azoto Total (%)						
Azoto Nitrato (mg kg ⁻¹)						
Ca Troca (me/100 g)						
Mg Troca (me/100 g)						
K Troca (me/100 g)						
Na Troca (me/100 g)						
Acidez titulavel (me/100 g)						
Soma Bases Troca (me/100 g)						
Cap. Troca Catiónica (me/100 g)						
<input checked="" type="checkbox"/> Areia (%)	34					
<input checked="" type="checkbox"/> Limo (%)	24					
<input checked="" type="checkbox"/> Argila (%)	42					
<input checked="" type="checkbox"/> Classe de Textura	Argilosa					

Comentários:

Técnico:

Contacto direto: Tel: 243 307 345
ul@esaa.ipsantarém.pt

Quinta do Galvão, S. Pedro - 2021-904 Santarém

Departamento de Ciências Agrárias e Ambiente
- Unidade Laboratorial -

ANÁLISE DE TERRA

DCAA-UL
Estágio Mestrado - Odete/Nicolau
Eng^a Mafalda

Referência do Laboratório 495	Referência da Amostra Poço 2	Entrada 07/03/2022	Saída 21/3/2022
---	--	-----------------------	--------------------

ANÁLISES	Resultados	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Textura de Campo						
pH (H ₂ O)						
Matéria Orgânica (%)						
Fósforo assimilável (mg.kg ⁻¹)						
Potássio assimilável (mg.kg ⁻¹)						
Calcário Total (%)						
Cálcio assimilável (mg.kg ⁻¹)						
Magnésio assimilável (mg.kg ⁻¹)						
Ferro extraível (mg.kg ⁻¹)						
Cobre extraível (mg.kg ⁻¹)						
Zinco extraível (mg.kg ⁻¹)						
Manganês extraível (mg.kg ⁻¹)						
Boro extraível (mg.kg ⁻¹)						
Azoto Total (%)		Comentários:				
Azoto Nitrico (mg.kg ⁻¹)						
Ca Troca (me/100 g)						
Mg Troca (me/100 g)						
K Troca (me/100 g)						
Na Troca (me/100 g)						
Acidez titulavel (me/100 g)						
Soma Bases Troca (me/100 g)						
Cap.Troca Catiónica (me/100 g)						
X Areia (%)	26					
X Limo (%)	28					
X Argila (%)	46					
X Classe de Textura	Argilosa					

Técnico:

Contato direto: Tel: 243 307 345
ul.dcaa@esa.ipsantarém.pt

Quinta do Galinheiro, S. Bento, 2201-904 Santarém