

**INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM**  
**Escola Superior Agrária de Santarém**



**POLITÉCNICO  
DE SANTARÉM**

**INFLUÊNCIA DAS CULTURAS DE COBERTURA NA  
CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO**

**Dissertação**

**Mestrado em Engenharia Agronómica**

**Inês Sofia Azevedo Alves da Silva**

**Orientação:**

**Rosa Maria Gomes Marques Santos Coelho**

Agosto, 2025

## **Agradecimentos**

Quero agradecer desde já a todos os que de certa forma contribuíram favoravelmente para conseguir alcançar este objetivo.

Agradeço à Escola Superior Agrária de Santarém e a todo o corpo docente do Mestrado em Engenharia Agronómica pelo valioso conhecimento transmitido ao longo destes dois anos. O empenho, dedicação e excelência foram fundamentais para o meu desenvolvimento quer pessoal quer profissional.

À Professora Doutora Rosa Coelho por gentilmente ter aceite orientar-me nesta dissertação de mestrado e pelo incansável apoio, dedicação, muita paciência e confiança depositada em mim.

À equipa do projeto SoilLife1st pelo dinamismo e ajuda prestada no terreno e na disponibilização de dados bem como à JH Luz – Sociedade Agro-Pecuária, Lda na pessoa do Eng<sup>o</sup>. José Luz que permitiu desenvolver este mesmo estudo na Herdade Casal das Freiras.

Um agradecimento também à FENCAÇA, entidade na qual trabalho, pela confiança depositada em mim e pela flexibilidade concedida, que me possibilitou concretizar este trabalho.

E por último, mas não menos importante um agradecimento aos meus pais, em especial à minha mãe cuja força, apoio, motivação e presença nos momentos mais desafiantes permitiram-me superar obstáculos e persistir até ao fim deste meu percurso.

## **Siglas**

AIHO - Associação Interprofissional de Horticultura do Oeste

Al – Alumínio

ANPROMIS – Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo

CC – Parcela Cultura de Cobertura

COTHN – Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional

DGAV – Direção Geral de Alimentação e Veterinária

DP – Desvio Padrão

INE – Instituto Nacional de Estatística

INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

K – Potássio

MS – Matéria Seca

N – Azoto

PME – Pequenas e Médias Empresas

PRR - Plano de Recuperação e Resiliência

RGA – Recenseamento Agrícola

TE – Parcela Testemunha

WWF - World Wildlife Fund

## Resumo

Na atualidade, uma das maiores preocupações reside na proteção e conservação do solo, bem como no uso moderado da água conduzindo a uma produção mais sustentável. Têm sido tomadas novas medidas para colmatar estas questões, destacando-se a utilização de culturas de cobertura como antecedente da cultura principal, de modo a impedir o impacto direto dos diversos agentes erosivos no solo levando, conseqüentemente, à sua degradação. Para além desta função protetora, este mecanismo biodiverso contribui para o aumento da fertilidade do solo bem como para o aumento da capacidade de infiltração e retenção de água.

Assim, para perceber se existe influência do coberto vegetal biodiverso cultivado antes da cultura principal, no solo, nomeadamente na percentagem de humidade e no impacto na cultura seguinte, foi realizado um estudo na Herdade Casal das Freiras pertencente à JH Luz – Sociedade Agro-Pecuária, Lda no âmbito do projeto SoilLife1st coordenado pela Escola Superior Agrária de Santarém. Este estudo consistiu em comparar percentagens de humidade do solo a diferentes profundidades em duas parcelas distintas, a parcela TE (testemunha) na qual se mante o restolho do milho durante o período Outono/Inverno e a parcela CC (cultura de cobertura) onde foi instalada uma mistura, composta por uma diversidade de espécies, principalmente leguminosas e gramíneas, antecedendo o milho (cultura principal de Primavera/Verão). A monitorização dos teores de humidade do solo utilizou equipamentos (sondas capacitivas, *loggers* entre outros), facultados pela Hidrosoph e os registos foram analisados através de uma plataforma de integração e tratamento de dados: IRRISTRAT™.

Durante o ciclo da cultura principal, foram feitas três recolhas em períodos distintos de cinco amostras de plantas (raízes e parte aérea), em cada modalidade, para perceber a evolução do milho nas duas parcelas e verificar se a cultura de cobertura e o teor de humidade no solo influenciaram o seu desenvolvimento.

Com os resultados obtidos não foi possível verificar diferenças no desenvolvimento cultural do milho nas parcelas em estudo, associadas ao antecedente cultural (cultura de cobertura).

As ligeiras diferenças identificadas no desenvolvimento das plantas (mais favorável na Testemunha) podem ter origem no teor de potássio (K) presente nas parcelas, em quantidades distintas. No que diz respeito à percentagem de humidade do solo, os resultados foram superiores na parcela com cultura de cobertura (CC), o que indicia o

aumento da capacidade de retenção de água no solo proporcionado por este tipo de antecedente cultural.

**Palavras-chave:** culturas de cobertura, teor de água no solo, milho, Irristrat.

## Abstract

Nowadays, one of the main concerns is the protection and conservation of soil, as well as the moderate use of water, leading to more sustainable production. New measures have been taken to address these issues, with particular emphasis on the use of cover crops as a precursor to the main crop, in order to prevent the direct impact of various erosive agents on the soil, which can lead to its degradation. In addition to this protective function, this biodiverse mechanism contributes to increased soil fertility as well as improved water infiltration and retention capacity.

To understand whether the biodiverse vegetation cover cultivated before the main crop influences the soil, namely in terms of moisture content and impact on the following crop, a study was carried out at Herdade Casal das Freiras, owned by JH Luz - Sociedade Agro-Pecuária, Lda as part of the SoilLife1st project coordinated by Escola Superior Agrária de Santarém. This study consisted of comparing soil moisture contents at different depths in two distinct plots: plot TE (control) in which corn stubble was kept during the fall/winter period and plot CC (cover crop), in which a mixture composed of a diversity of species, mainly legumes and grasses, was sown prior to corn (the main spring/summer crop). Soil moisture monitoring was carried out using equipments (capacitive probes, loggers, among others) provided by Hydrosoph and the data were analyzed using an integration and data processing platform: IRRISTRAT™.

During the main crop cycle, three rounds of sampling were carried out at different times, with five plant samples (roots and aerial parts) collected in each round to assess the evolution of corn in both plots and determine whether the cover crop and the soil moisture content influenced its development.

Based on the results obtained, it was not possible to identify differences in corn development between the plots that could be attributed to the cultural antecedent (cover crop).

The slight differences observed in plant development (more favorable in the control plot) may be due to the difference in potassium (K) level present in the plots. Regarding soil moisture content, higher values were recorded in the plot with cover crop (CC), which shows that the presence of cover crops as a cultural antecedent can enhance the soil's water retention capacity.

**Key-words:** Cover-crops, soil water content, maize, Irristrat platform.

# Índice

Agradecimentos .....	ii
Siglas .....	iii
Resumo .....	iv
Abstract.....	vi
1. Introdução.....	11
2. Objetivos do estudo.....	13
3. Revisão bibliográfica.....	14
3.1. Alterações climáticas .....	14
3.2. Gestão de água na agricultura.....	16
3.3. Culturas de cobertura.....	17
3.4. Cultura do milho.....	22
3.5. Solo.....	25
4. Materiais e métodos .....	28
4.1. Caso de estudo .....	28
4.2. Localização do ensaio.....	28
4.3. Tipo de solo .....	30
4.4. Caracterização climática.....	31
4.5. Metodologia para a instalação da sonda e equipamentos acessórios.....	32
4.6. Delineamento Experimental .....	34
4.7. Recolha e processamento de amostras.....	35
4.7.1. Recolha de amostras no campo .....	35
4.8. Tratamento do material recolhido.....	37
5. Resultados e discussão .....	40
6. Conclusões e perspetivas futuras.....	58
7. Referências bibliográficas .....	60

## Índice de figuras

Figura 1: Demonstração da Fixação de Azoto através da simbiose entre o rizóbio e a raiz da planta. (Fonte: Vida Rural dezembro 2021/janeiro 2022) .....	15
Figura 2: Metas ambientais definidas na Política Agrícola Comum (2023-2027). (Fonte: WWF Portugal (2025). Guia de Boas Práticas Agrícolas na Lezíria do Tejo).....	17
Figura 3: Gramíneas. (Fonte: Agrotec, maio 2019).....	19
Figura 4: Leguminosas. (Fonte: Revista Ruminantes, 2023) .....	20
Figura 5: Curva de produção de matéria seca de pastagens consoante o tipo de clima. (Fonte: MOREIRA, 2002).....	20
Figura 6: Evolução da área (ha) associada a diferentes culturas de 1989 a 2019. (Fonte: INE/RGA, 2019).....	22
Figura 7: Cultura do milho. (Fonte: Projeto SoilLife1st, 2024) .....	22
Figura 8: Sistema radicular adventício. (Fonte: Barros & Calado, 2014).....	23
Figura 9: Estádios de desenvolvimento fenológico do milho. (Fonte:Paes, 2011) .....	23
Figura 10: Evolução da área do milho no país. (Fonte: DGAV, 2025).....	25
Figura 11: Composição média do solo. (Fonte: INIAV, 2022).....	26
Figura 12: Quadro de Truog - Disponibilização de nutrientes de acordo com o pH do solo. Fonte: (INIAV, 2022).....	27
Figura 13: Presença de nutrientes na solução do solo. (Fonte: Barros, 2020).....	27
Figura 14: Localização das parcelas em estudo. (Fonte: SoilLife1st/ <a href="https://soillife1st.webnode.pt/campo-da-golega-n1/">https://soillife1st.webnode.pt/campo-da-golega-n1/</a> ) .....	29
Figura 15: Estado da cultura do milho no campo de ensaio em junho2024. (Fonte: SoilLife1st).....	29
Figura 16: Processo de recolha de amostras de solo (Herdade Casal das Freiras).....	30
Figura 17: Precipitação média mensal no período de 1991 e 2020. (Fonte: IPMA) .....	31
Figura 18: Temperatura média mensal no período de 1991 a 2020. (Fonte: IPMA) .....	32
Figura 19: Materiais utilizados na instalação da sonda. ....	33
Figura 20: Perfil do solo, retirado através do trado no momento da instalação da sonda. ....	34
Figura 21: Procedimento de extração da planta do solo, acondicionamento e organização das amostras.....	36
Figura 22: Extração das amostras e lavagem das mesmas. ....	37

Figura 23: Limpeza e medição das partes aérea e radicular das amostras. ....	38
Figura 24: Processo de Limpeza e medição da parte radicular realizado na segunda e terceira recolha de amostras. ....	38
Figura 25: Pesagem da massa verde da parte aérea e radicular e respetiva desidratação. ....	39
Figura 26: Acondicionamento na estufa de secagem e pesagem da massa seca das raízes e parte aérea. ....	39
Figura 27: Amostra radicular (modalidade TE) retida no solo e danificada no processo de remoção. ....	42
Figura 28: Precipitação média ao longo do ensaio (dezembro de 2023 a setembro de 2024). (Fonte: IRRISTRAT™) ....	44
Figura 29: Temperatura média ao longo do ensaio (dezembro de 2023 a setembro de 2024). (Fonte: IRRISTRAT™) ....	44
Figura 30: Quantidade de água disponibilizada semanalmente - Modalidade TE. (Fonte: IRRISTRAT) ....	46
Figura 31: Quantidade de água disponibilizada semanalmente – Modalidade CC. (Fonte: IRRISTRAT) ....	46
Figura 32: Percentagem de humidade do solo aos 10 cm, 20 cm, 30cm e 40 cm de profundidade ao longo do tempo (Outono/Inverno) na modalidade CC (cultura de cobertura).....	50
Figura 33: Percentagem de humidade do solo aos 10 cm de profundidade ao longo do tempo nas duas parcelas em estudo no período de Primavera/Verão.....	51
Figura 34: Percentagem de humidade do solo aos 20 cm de profundidade ao longo do tempo nas duas parcelas em estudo no período de Primavera/Verão.....	52
Figura 35: Percentagem de humidade do solo aos 30 cm de profundidade ao longo do tempo nas duas parcelas em estudo no período de Primavera/Verão.....	53
Figura 36: Percentagem de humidade do solo aos 40 cm de profundidade ao longo do tempo nas duas parcelas em estudo no período de Primavera/Verão.....	53
Figura 37: Relação massa verde da parte aérea ao longo do tempo. ....	54
Figura 38: Relação massa seca da parte aérea ao longo do tempo. ....	55

## Índice de quadros

Quadro 1: Distribuição por região agrária de culturas de cobertura associadas a prados temporários e forragens. (Fonte: INE/RGA, 2019).....	21
Quadro 2: Análise de solo da Herdade Casal das Freiras - Golegã. (Fonte: Projeto Soilife1st, 2024) .....	30
Quadro 3: Dados das 10 amostras de plantas, 5 de cada modalidade, recolhidos a 12 de junho. ....	40
Quadro 4: Dados das 10 amostras de plantas, 5 de cada modalidade, recolhidos a 4 de julho. ....	41
Quadro 5: Dados das 10 amostras de plantas, 5 de cada modalidade, recolhidos a 24 de julho. ....	41
Quadro 6: Valores médios de Precipitação, Evapotranspiração e Temperatura na modalidade CC, durante o período outono-inverno. ....	45
Quadro 7: Quantidade de água prevista para o decorrer da cultura (calendário de rega) e a água realmente disponibilizada através da rega. ....	46

## 1. Introdução

O trabalho que se apresenta corresponde à dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica da Escola Superior Agrária de Santarém (Instituto Politécnico de Santarém). O estudo foi efetuado num campo de ensaio, no âmbito do projeto SoiLife1st, num plano de ação dedicado à gestão de recursos hídricos.

O projeto mencionado está a ser desenvolvido na região do ribatejo, oeste e litoral alentejano. O mesmo é coordenado pelo Instituto Politécnico de Santarém estando envolvidas diversas entidades, nomeadamente COTHN-CC, INIAV, AIHO, CAMPOTEC, FERTIPRADO, Emergosol, Sociedade Agrícola Herdade das Malhadinhas, Rumiagro Unipessoal, Lda, JH Luz – Sociedade Agro-Pecuária, Lda, Sociedade Agrícola S. João de Brito e tem como principal foco o desenvolvimento de técnicas que possibilitem práticas agrícolas mais sustentáveis ao nível da conservação do solo (melhoramento estrutural, composição, fertilidade, retenção de água, entre outras). Na situação do projeto estuda-se a implementação de culturas de cobertura, num sistema intercalar, com a cultura principal, promovendo não só a melhoria ao nível da estrutura e retenção de água no solo mas também a criação de sistemas biodiversos encaminhados para uma produção num modelo mais agroecológico e com reduzidas emissões de carbono.

Este trabalho foi desenvolvido num campo experimental pertence à JH Luz – Sociedade Agro-Pecuária, Lda na Herdade Casal das Freiras, situada no concelho da Golegã. Os equipamentos de monitorização de água no solo e a plataforma integradora de dados (IRRISTRAT™) para apoio à decisão foram contratualizados com a empresa Hidrosoph. Com este ensaio pretendeu-se comparar a disponibilização de água armazenada no solo, estudando duas modalidades de cobertura do solo no período intercalar, modalidade testemunha, parcela na qual não foi instalada qualquer cultura mantendo-se o restolho do milho (cultura principal) e modalidade cultura de cobertura, parcela na qual foi instalado um coberto vegetal composto por uma mistura biodiversa de leguminosas e gramíneas. As referências bibliográficas apontam para uma forte correlação entre a utilização de culturas de cobertura e a melhoria da saúde do solo, destacando-se a importante função destas na otimização da capacidade de retenção de água no solo Koudahe et al. (2022).

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos. O Capítulo 1 corresponde à presente Introdução, onde se enquadra o tema que se apresenta. No Capítulo 2 são definidos os Objetivos do Estudo, no Capítulo 3 consta a Revisão Bibliográfica, o Capítulo 4 diz respeito aos Materiais e Métodos desenvolvidos neste estudo, no Capítulo 5 constam os Resultados e Discussão dos mesmos, no Capítulo 6 apresenta-se a Conclusão referente ao estudo desenvolvido, e por último no Capítulo 7 apresentam-se as Referências Bibliográficas.

## **2. Objetivos do estudo**

Este ensaio teve como objetivo perceber se o antecedente cultural (culturas de cobertura) viabilizou um incremento na capacidade de retenção de água no solo beneficiando a cultura principal ao nível do seu desenvolvimento, quer aéreo quer radicular. Assim, estudou-se a relação entre o teor de humidade do solo e o desenvolvimento da planta, analisando a parte radicular e aérea, recorrendo a duas modalidades, modalidade testemunha (TE) e modalidade cultura de cobertura (CC). A primeira diz respeito à utilização de uma parcela sem a presença de culturas de cobertura, como antecedente cultural e a outra trata-se de uma parcela experimental com a instalação de uma cultura de cobertura, constituída por uma mistura biodiversa de gramíneas e leguminosas, adaptada ao ciclo cultural da cultura principal, que neste caso é o milho.

Foi efetuada uma monitorização da água no solo, ao longo de um perfil com 80 cm (com sensores de 10 em 10cm de profundidade) durante o desenvolvimento da cultura de cobertura (no período intercalar) e durante o desenvolvimento da cultura principal avaliando assim em que medida a utilização da cultura de cobertura promoveu a melhoria das características do solo, designadamente, ao nível da sua capacidade de retenção de água.

Esta monitorização foi feita em iguais períodos nas duas modalidades estudadas (cultura de cobertura vs testemunha) para perceber a sua evolução, avaliando a assim a disponibilização de água no solo no decorrer do ciclo da cultura, apurando a existência de diferenças ao nível das plantas.

### **3. Revisão bibliográfica**

#### **3.1. Alterações climáticas**

Nos últimos anos, as alterações climáticas, em particular na região mediterrânica, têm causado impacto no que diz respeito à disponibilidade de água no solo e na produtividade agrícola. De acordo com Del Pozo et al. (2019), o agravamento climático, marcado por verões cada vez mais longos, quentes e secos e invernos progressivamente mais amenos constitui um fator limitante para as culturas agrícolas principais, pondo em risco o seu desenvolvimento e viabilidade. Adicionalmente, a intensificação de fenómenos meteorológicos extremos, com maior frequência, tem comprometido a sustentabilidade dos sistemas produtivos e a sua gestão (Mendis et al., 2022).

O solo cumpre um papel fundamental como reservatório natural de água, essencial para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Segundo Shahidian et al. (2017), mais de 80% da água subterrânea é utilizada para fins agrícolas. Contudo o reabastecimento destas reservas encontra-se comprometido pelas alterações climáticas, dependendo da precipitação no inverno/semestre húmido e ainda são afetadas pelos elevados níveis de evapotranspiração durante o verão, principalmente em clima mediterrânico.

Mira (2019) realça a importância da implementação de medidas de adaptação, nomeadamente, o armazenamento de água durante os períodos mais húmidos de forma suprir as necessidades nos meses mais secos, garantindo a disponibilidade hídrica.

Face a estes desafios considera-se fundamental implementar estratégias que fomentem a adaptação das culturas agrícolas e a mitigação dos impactos decorrentes das alterações climáticas. Del Pozo et al. (2019) propõem algumas práticas, entre as quais destacam-se, o cultivo de plantas geneticamente melhoradas, com maior resistência ao stress climático, gestão eficiente da água, um conhecimento mais aprofundado da rizosfera, o recurso a tecnologias inovadoras, nomeadamente a utilização de drones, bem como a disponibilização de incentivos destinados aos agricultores para estimular a adoção destas práticas. Mira (2019) refere que o aumento das temperaturas e consequente redução de ocorrência de geadas pode possibilitar a introdução de culturas que não se encontravam, anteriormente, adaptadas ao clima mediterrânico. Contudo é necessária uma

reestruturação no calendário de operações agrícolas, tal como sementeiras e seleção de variedades melhor adaptadas às novas condições climáticas.

Paz et al. (2022) consideram que a utilização de culturas de cobertura, principalmente, as leguminosas, são uma solução eficaz e multifuncional. Estas culturas através da simbiose com rizóbios possuem a capacidade de fixar o azoto atmosférico, contribuindo para o fornecimento natural de nutrientes e aumento da fertilidade do solo (Figura 1). Por outro lado, as gramíneas, também apresentam um papel importante, estabelecendo relações com outros microrganismos que promovem o desenvolvimento fenológico das culturas principais.

O uso contínuo dos cobertos vegetais biodiversos, tem demonstrado benefícios para o solo e ambiente. Segundo Mira (2019), esta prática contribui para o sequestro de carbono no solo e aumento da biomassa, promovendo uma gestão mais sustentável dos recursos naturais. Além disso, promove a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa, protege o solo contra os processos erosivos, favorece a conservação do teor de humidade do solo e aumento da matéria orgânica (Mendis et. al, 2022). Esta prática, conseqüentemente, promove a biodiversidade do solo e contribui ainda para o equilíbrio do ciclo hidrológico conforme Paz et al. (2022).

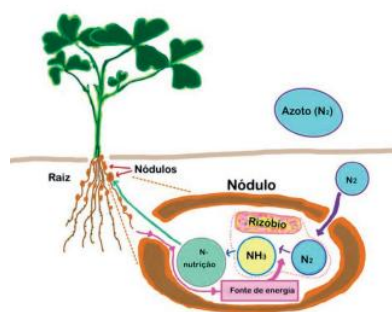


Figura 1: Demonstração da Fixação de Azoto através da simbiose entre o rizóbio e a raiz da planta. (Fonte: Vida Rural dezembro 2021/janeiro 2022)

### **3.2. Gestão de água na agricultura**

A escassez de recursos hídricos constitui uma das principais consequências do impacto das alterações climáticas na região mediterrânica. Sendo esta região caracterizada por distribuição de precipitação cada vez mais instável, verificando-se uma concentração fora das fases mais críticas ao nível do desenvolvimento das culturas, quando a necessidade hídrica é mais elevada. Esta situação levanta exigências adicionais no que diz respeito à gestão hídrica na agricultura, tornando necessária a implementação de estratégias mais eficientes e sustentáveis, especialmente em culturas de grande exigência ao nível de água, como é o caso do milho (Shahidian et al., 2017; Del Pozo et al., 2019).

Na região do Ribatejo, marcada por uma longa tradição agrícola, pela presença do rio Tejo e respetivos afluentes, a cultura do milho destaca-se como uma das mais relevantes do ponto de vista económico (ANPROMIS, 2024), sendo em simultâneo uma das culturas mais exigentes em termos hídricos, especialmente nos períodos de maior défice hídrico em termos de precipitação, e a mais eficiente no uso da água (Paes, 2011). O uso intensivo dos aquíferos subterrâneos, cuja recarga depende da precipitação do inverno, levanta preocupações quanto à viabilidade e sustentabilidade da sua exploração a médio e longo prazo (Mira, 2019; Shahidian et al., 2017).

Face a este contexto, a gestão de água deve basear-se numa estratégia integrada, que inclua a adoção de métodos de rega mais eficientes, nomeadamente rega localizada ou regulada por sensores de humidade. A calendarização, com maior rigor, das intervenções agrícolas, a melhoria da estrutura do solo para reforçar a capacidade de retenção de água, bem como a implementação de práticas regenerativas das quais se destaca o uso de culturas de cobertura, que segundo Mendis et al. (2022) e Mendes et al. (2025), desempenham um papel essencial na manutenção da humidade superficial do solo, na proteção contra agentes erosivos e no aumento de matéria orgânica, preservação da biodiversidade, contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes e adaptados às alterações climáticas (Figura 2).



Figura 2: Metas ambientais definidas na Política Agrícola Comum (2023-2027). (Fonte: WWF Portugal (2025). Guia de Boas Práticas Agrícolas na Lezíria do Tejo)

### 3.3. Culturas de cobertura

As culturas de cobertura têm vindo a ser consideradas um fator chave para a promoção da sustentabilidade agrícola. São espécies cultivadas com o objetivo de promover significativamente a melhoria do solo, a regulação do ciclo hidrológico e a mitigação dos efeitos das alterações climáticas (Koudahe et al., (2022).

Segundo Koudahe et al. (2022), estas culturas classificam-se de forma geral em dois grupos, gramíneas e leguminosas. As primeiras apresentam um elevado potencial na produção de biomassa para além de que a sua lenta decomposição apresenta um papel importante na proteção do solo contra os agentes erosivos, designadamente, erosão hídrica e eólica, já as leguminosas destacam-se pela capacidade de fixar azoto. Estes referem ainda que as culturas de cobertura podem ser compostas por leguminosas, nomeadamente trevos (*Trifolium spp.*), ervilhaca (*Vicia villosa*), serradela (*Ornithopussativus*), entre outras, e por gramíneas tais como aveia (*Avena sativa*), sorgo forrageiro (*Sorghumbicolor*), triticales (*Triticosecale*), azevém (*Loliumperenne*). A utilização de uma só espécie, para Koudahe et al. (2022) depende dos objetivos de cultivo de cada produtor. As gramíneas apresentam vigor em termos de crescimento e desenvolvimento o que conseqüentemente provocará uma decomposição mais lenta em termos da sua biomassa.

Segundo Ramos et al. (2016), a biomassa vegetal incorporada no solo promove a formação de agregados compostos por partículas orgânicas e minerais permitindo assim uma melhor infiltração de água no solo e conseqüente armazenamento da mesma. De igual forma Calha & Amaral (2024), referem que as culturas de cobertura promovem o

aumento da fertilidade dos solos, quer pela captação de nutrientes, como o N (azoto), quer pelo aumento da biomassa do solo através da sua incorporação. Além disso reduzem, consideravelmente, as perdas de água por evapotranspiração, melhorando a sua retenção no solo. Com a cobertura do solo ainda evitam a degradação da sua estrutura e reduzem a lixiviação de nutrientes, absorvendo-os e libertando-os mais tarde durante o processo de decomposição, contribuindo também para uma manutenção dos ecossistemas naturais.

Koudahe et al. (2022), refere ainda que este tipo de coberto promove uma alteração positiva nas propriedades do solo, nomeadamente melhoria das suas propriedades, mais especificamente no aumento da porosidade do solo, redução da densidade aparente, aumento da estabilidade dos agregados, aumento da capacidade de infiltração e retenção de água, promoção da atividade e diversidade microbológica, entre outros fatores que contribuem para a melhoria da saúde do solo e produtividade a longo prazo. Também Meyer et al. (2020), acrescentam que este tipo de coberto para além de auxiliar na mitigação de infestantes, pragas ou doenças promove uma melhor adaptação às alterações climáticas. No que diz respeito a zonas de clima temperado tendo em conta a área foliar deste coberto há um aumento do processo de transpiração reduzindo as perdas de água do solo através de evaporação.

Meyer et al. (2020) e Kaspar & Singer (2011) reforçam que a instalação de culturas de cobertura como precedente da cultura principal apresenta diversos benefícios não só para a cultura com maior valor económico como também ao nível do solo e ambiente. Assim esse tipo de coberto atua como barreira contra agentes erosivos, protegendo o solo do seu impacto direto.

Em termos hídricos, Basche et al. (2016), evidenciam que o uso de culturas de cobertura (centeio), em sistema rotacional (milho-soja), numa das maiores regiões produtoras de milho a nível mundial, Estado de Iowa no Centro Oeste do Estados Unidos, durante a estação mais fria, inverno, promoveu uma melhoria na manutenção dos níveis de água no solo bem como o respetivo armazenamento. Durante a cultura subsequente, verificou-se um aumento significativo no teor de água disponível para as plantas até 30 cm de profundidade, nos anos mais secos. Tal acontecimento levou a uma melhoria ao nível da sua retenção, favorecendo a cultura principal. Assim reforçam que a instalação de culturas

de cobertura beneficia o solo em termos hídricos sem condicionar negativamente o desenvolvimento das culturas principais.

De acordo com a Fertiprado (2024), empresa que produz misturas biodiversas “Taylor made” e que forneceu as sementes para este mesmo estudo, têm vindo a ser desenvolvidas técnicas que aliadas ao estudo pormenorizado de diferentes fatores (solo, clima e objetivos de utilização das sementes) permitem cultivar espécies mais adaptadas às necessidades de cada agricultor bem como às características edafo-climáticas de cada região do país, promovendo uma melhoria do solo com impacto direto na produtividade.

Em termos radiculares as gramíneas (Figura 3) apresentam um sistema radicular adventício e fasciculado que possibilita o melhoramento do solo tendo em conta os seus resíduos que depois de incorporados favorecem o aumento da matéria orgânica (Kaspar & Singer, 2011). Por outro lado, as leguminosas (Figura 4) possuem um sistema radicular apumado produzindo por exemplo, no caso do trevo branco, estolhos. Os nódulos presentes nas raízes destas plantas têm origem na simbiose com o rizóbio, fixando o azoto atmosférico como já foi referido anteriormente por Calha & Amaral (2024).



Figura 3: Gramíneas. (Fonte: Agrotec, maio 2019)



Figura 4: Leguminosas. (Fonte: Revista Ruminantes, 2023)

De acordo com Moreira (2002), o clima apresenta influência determinante no desenvolvimento e crescimento das gramíneas e leguminosas no decorrer do ano. Esta influência torna-se mais evidente quando se observam as curvas da produção de matéria seca (MS) ao longo das diferentes estações do ano, como se pode verificar na Figura 5. No contexto de clima mediterrânico, observa-se que na primavera existe uma maior produção de MS, atingindo nesta estação o seu pico produtivo.

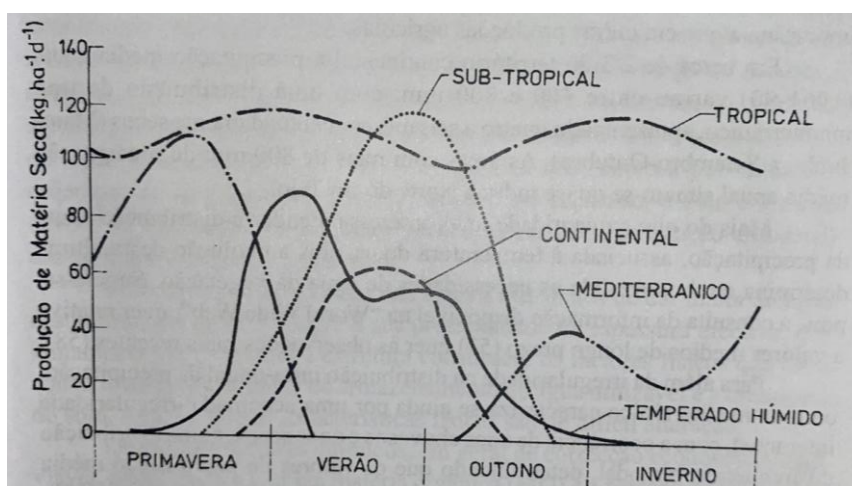


Figura 5: Curva de produção de matéria seca de pastagens consoante o tipo de clima. (Fonte: MOREIRA, 2002)

As culturas de cobertura apresentam cada vez mais expressividade no que diz respeito à sua utilização, o que se pode verificar no Quadro 1, no qual se apresenta a distribuição geográfica e a área (em hectares) de culturas de cobertura associadas a prados temporários e culturas forrageiras pelas várias regiões do país. Segundo o INE/RGA 2019, as culturas

de cobertura do solo, associadas a prados temporários e a culturas forrageiras registaram um aumento de 12,0%, contribuindo para que culturas temporárias representassem 49,8% da superfície agrícola utiliza.

Quadro 1: Distribuição por região agrária de culturas de cobertura associadas a prados temporários e forragens. (Fonte: INE/RGA, 2019)

Região Agrária	Prados temporários e culturas forrageiras				
	Cultura principal		Total		
	(ha)	Importância no total (%)	(ha)	(%)	Varição 2009-2019 (%)
<b>Portugal</b>	484 180	87,5	553 619	100,0	12,0
<b>Continente</b>	457 509	89,3	512 066	92,5	8,0
EDM	41 719	54,0	77 283	14,0	-25,7
TM	24 483	95,7	25 592	4,6	-18,9
BL	23 330	74,2	31 425	5,7	-27,9
BI	52 795	92,4	57 134	10,3	-21,6
RO	51 496	95,5	53 941	9,7	24,2
ALE	255 878	98,8	258 874	46,8	48,8
ALG	7 807	99,9	7 817	1,4	75,8
<b>Açores</b>	26 619	64,2	41 470	7,5	104,9
<b>Madeira</b>	53	63,7	83	0,0	-44,7

**Legenda:**

EDM – Entre Douro e Minho  
 TM – Trás-os-Montes  
 BL – Beira Litoral  
 BI – Beira Interior  
 RO – Ribatejo e Oeste  
 ALE – Alentejo  
 ALG – Algarve

A Figura 6, mostra a evolução das culturas de cobertura associadas, tal como no Quadro 1, a prados temporários e culturas forrageiras, ao longo de um período de 30 anos, entre 1989 e 2019. Verifica-se, um crescimento expressivo destas culturas, que ganham cada vez mais área no espaço agrícola. Por outro lado, os cereais para grão apresentaram uma acentuada redução. Esta inversão de padrões aponta para novas escolhas agrícolas, associadas possivelmente às mudanças das políticas agrícolas ou estratégias mais sustentáveis e rentáveis ao nível das culturas (Mendes et al., 2025).

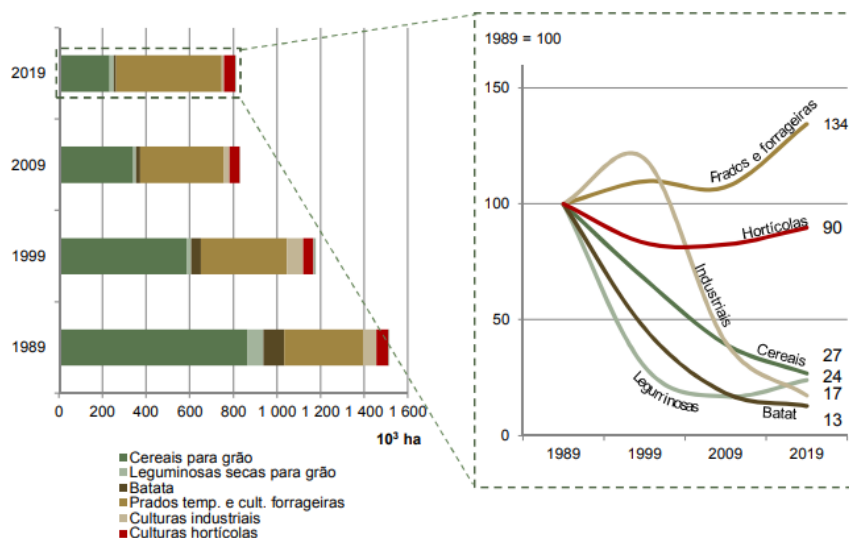


Figura 6: Evolução da área (ha) associada a diferentes culturas de 1989 a 2019. (Fonte: INE/RGA, 2019)

### 3.4. Cultura do milho

O milho (Figura 7), tem origem numa planta selvagem, teosinto, através de processos de domesticação na região do Vale do Rio Balsas, no sul do México (Matsuoka et al., 2002). É uma espécie pertencente à família Gramineae/Poaceae e destaca-se como uma cultura amplamente difundida a nível mundial, devido à sua notável adaptabilidade a diferentes tipos de clima (temperado, tropical, sub-tropical), o que se deve, em parte, à diversidade dos seus genótipos (Paes, 2011). Em Portugal o milho assume grande relevância enquanto cultura arvense, tendo em conta a área agrícola que ocupa. De acordo com os dados da ANPROMIS (2024), cerca de 150.000 hectares de área cultivada, estão dedicados a esta cultura, quer para a vertente forrageira quer para a vertente do grão.



Figura 7: Cultura do milho. (Fonte: Projeto SoilLife1st, 2024)

Segundo Paes (2011), a introdução de variedades com melhor adaptabilidade às condições edafo-climáticas bem como a implementação de técnicas culturais mais adequadas ao cultivo do milho levam a um crescimento considerável em termos de produtividade. No que diz respeito à morfologia radicular, o milho apresenta uma raiz primária que tem origem na radícula e desenvolve-se verticalmente em profundidade no solo. À medida que a planta cresce, formam-se raízes secundárias que se ramificam de forma elevada. Por outro lado, desenvolvem-se ainda raízes adventícias (Figura 8), que desempenham um papel importante no sustento físico, assegurando a estabilidade estrutural da planta.



Figura 8: Sistema radicular adventício. (Fonte: Barros & Calado, 2014)

No que diz respeito às fases de desenvolvimento da cultura do milho, Paes (2011) destaca duas importantes, uma diz respeito à fase vegetativa, durante a qual ocorre o desenvolvimento estrutural da planta e a outra à fase reprodutiva, na qual ocorre o enchimento do grão (Figura 9).

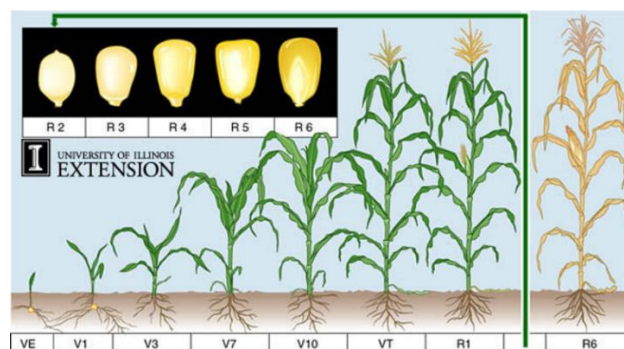


Figura 9: Estádios de desenvolvimento fenológico do milho. (Fonte: Paes, 2011)

**Legenda:**

Período Vegetativo (V):

VE - emergência

V1 – primeira folha expandida

V2 - primeira folha expandida

V3 - primeira folha expandida

V(n) – Enésima folha expandida  
VT - Embandeiramento Período  
Reprodutivo (R):  
R1 – Aparecimento das sedas (*silking*)  
R2 – Emborrachamento (*blister*)  
R3 – Leitosa (*milk*)  
R4 – Pastosa (*dough*)  
R5 – Vítreo (*dent*)  
R6 – Maturação fisiológica

A dotação de rega, segundo Paes (2011), deve ser ajustada de acordo com os períodos mais críticos do desenvolvimento da planta, nomeadamente fase do desenvolvimento radicular primário e floração, alturas na qual a cultura apresenta maior sensibilidade ao défice hídrico. Considerando as condições climática da região do Ribatejo, o milho atinge a sua produtividade máxima sob o regime de regadio. Embora seja uma cultura exigente ao nível das suas necessidades hídricas, destaca-se pela sua grande capacidade no uso eficiente da água que lhe é fornecida, ou seja, consegue transformar eficazmente a água recebida em produtividade e rendimento, produzindo mais matéria seca (biomassa e grãos) por igual quantidade de água consumida do que outras culturas, justificando assim o seu elevado rendimento em sistema de regadio (Rodrigues et al., 2011).

As necessidades hídricas da planta estão condicionadas por algumas variantes, nomeadamente tipo de solo, a capacidade que o mesmo apresenta para reter água, utilização da água por parte da cultura, finalidade da cultura bem como ciclo cultural. A cultura do milho desenvolve-se preferencialmente em solos cuja textura é mediana, ou seja, solos francos a franco limosos, dando primazia a solos nos quais a estrutura possibilita um bom arejamento bem como uma favorável circulação de água e que permitam a disponibilização de nutrientes à cultura (Paes, 2011).

De acordo com os dados da Direção Regional de Agricultura, o distrito de Santarém destaca-se a nível nacional como o principal produtor de milho, tanto para grão como para silagem, com uma área de 19.507 ha, sendo o concelho da Golegã o que se destaca com maior área ocupada pela cultura do milho (6.382 ha) (Agrotec, 2018). No entanto, de acordo com a DGAV (2025), verificou-se um decréscimo na área total de milho, a nível nacional, para grão e silagem tal como se pode observar na Figura 10.

Ano	Norte	Centro	Lisboa e Vale do Tejo	Alentejo	Algarve	Total
<b>2023</b>	35935	21979	21940	11912	21	91785
<b>2024</b>	35510	20917	20652	9751	31	86861
<b>Variação</b>	<b>-1%</b>	<b>-5%</b>	<b>-6%</b>	<b>-18%</b>	<b>49%</b>	<b>-5%</b>

Figura 10: Evolução da área do milho no país. (Fonte: DGAV, 2025)

### 3.5.Solo

O solo é um recurso natural fundamental para a vida e sustentabilidade do planeta. Atua como suporte físico para a fixação das plantas. Trata-se de um sistema tripartido, constituído por uma fase sólida (mineral e orgânica), uma fase líquida (solução do solo) e uma fase gasosa (ar do solo). Além disso contém uma vasta gama de microrganismos vivos, matéria orgânica nos seus agregados, matéria mineral bem como água e ar armazenados entre os seus poros. É composto por um material não consolidado, formando uma crosta (Wang et al., 2014). Sendo um recurso natural não renovável, à escala humana, a sua preservação revela uma grande importância e para evitar diversos processos derivados de agentes erosivos é fundamental adotar práticas sustentáveis, nomeadamente a introdução de culturas de cobertura no itinerário técnico das culturas principais (Kaspar & Singer, 2011).

Basile-Doelsch et al. (2020), referem que o solo é o maior reservatório de carbono sendo que uma agricultura mais ecológica promove o aumento do sequestro do mesmo. A decomposição da biomassa vegetal, por ação dos microrganismos do solo, e humificação leva a um aumento e manutenção do teor de carbono no solo.

A estrutura do solo de acordo com Veloso, et al. (2022) determina a capacidade de infiltração e o fluxo de água, nutrientes e gases no mesmo através dos poros. A porosidade é formada por dois processos distintos, nomeadamente físicos e biológicos, no que diz respeito a este último, é provocado a partir das raízes de plantas e pela atividade de seres vivos, designadamente, insetos no solo. Já os processos físicos derivam da alteração do estado de humidade do próprio solo, processos mecânicos de mobilização do solo entre outros. Wang et al. (2023), caracterizam o solo como um sistema natural dinâmico no qual os microrganismos, ar, água, matéria orgânica, se relacionam entre si (Figura 11).

Este recurso para além de suportar fisicamente as plantas, desempenha um papel importante na regulação do ciclo hidrológico, no armazenamento de carbono e na manutenção da biodiversidade dos ecossistemas. Um solo saudável promove uma resiliência face às alterações climáticas.

Um outro aspeto importantíssimo referido por Wang et al. (2023), é a função que o solo desempenha como reservatório natural de água, retendo a mesma e disponibilizando-a às plantas durante o seu desenvolvimento.

Wang et al. (2023), destacam a importância de um solo saudável, resultado de uma gestão sustentável, como forma de preservar os ecossistemas que nele se desenvolvem.

De acordo com Veloso, et al. (2022) o conceito de fertilidade diz respeito à capacidade que o solo tem em fornecer nutrientes essenciais às plantas para o seu bom desenvolvimento (Figura 12).

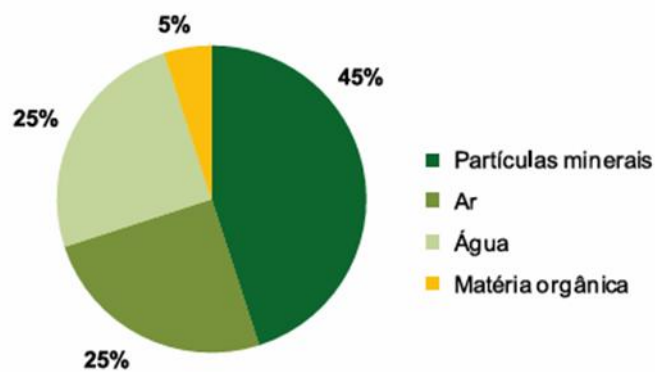


Figura 11: Composição média do solo. (Fonte: INIAV, 2022)

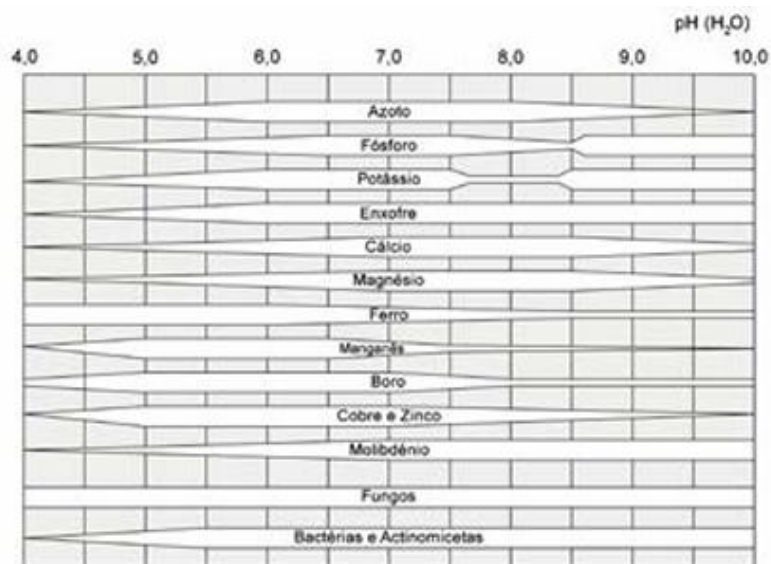


Figura 12: Quadro de Truog - Disponibilização de nutrientes de acordo com o pH do solo. Fonte: (INIAV, 2022)

Ainda Veloso, et al. (2022) dizem-nos que grande parte dos solos tem na sua constituição potássio (K). Este nutriente encontra-se em reduzida percentagem adsorvido no complexo de troca e ainda na solução do solo ficando assim disponível para as plantas. O potássio poderá tornar-se novamente livre e ser absorvido pela cultura seguinte. Na reação dos solos ácidos, pH abaixo de 5, o alumínio substitui o potássio na adsorção pelo que o potássio se torna disponível para as plantas (Figura 13). O potássio é um nutriente com um papel essencial para um melhor desenvolvimento radicular e incremento no rendimento da cultura do milho.

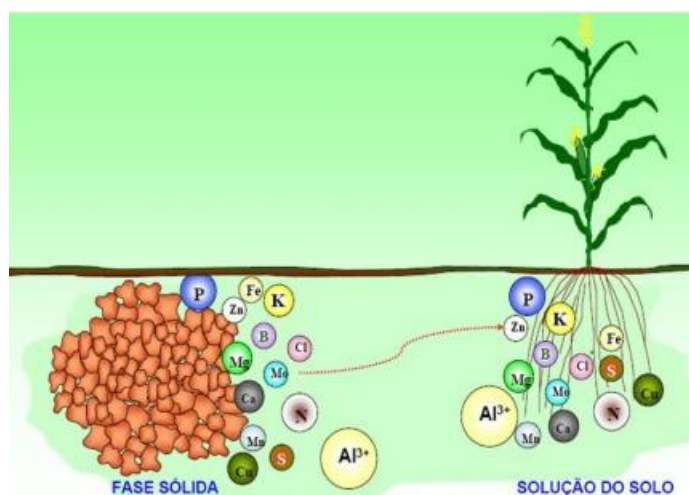


Figura 13: Presença de nutrientes na solução do solo. (Fonte: Barros, 2020)

## **4. Materiais e métodos**

### **4.1.Caso de estudo**

O projeto SoilLife1st: Adaptação de sistemas produtivos em contexto de alterações climáticas (SoiLife1st - PRR-C05-i03-I-000006), é uma iniciativa aprovada no âmbito do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) da iniciativa emblemática 4 e da Agenda de Inovação para a Agricultura 2030. Tem a coordenação do Instituto Politécnico de Santarém/ESAS é constituída por parceiros do sistema científico e tecnológico nacional, centro de competências, associações profissionais e PME, (<https://soilife1st.webnode.pt/>). No âmbito da linha de ação LA4.3. Gestão dos recursos hídricos, desenvolvido pela Escola Superior Agrária de Santarém, efetuou-se um estudo na Herdade Casal das Freiras, gerida pela empresa JH – Sociedade Agro-Pecuária, Lda (um dos campos piloto do projeto), com o objetivo de determinar a influência das culturas de cobertura (misturas biodiversas) no teor de água no solo e no desenvolvimento do milho, cultura principal.

### **4.2.Localização do ensaio**

O ensaio foi desenvolvido num campo piloto localizado na Herdade Casal das Freiras na Golegã, pertencente à Casa Agrícola JH Luz – Sociedade Agro-Pecuária, Lda (Figura 14). A exploração em questão dedica-se maioritariamente à produção de milho para grão ou silagem, aproveitando a cultura de inverno (cultura de cobertura) para o consumo animal sob a forma de forragem.



Figura 14: Localização das parcelas em estudo. (Fonte: SoilLife1st/<https://soilife1st.webnode.pt/campo-da-golegan1/>)

**Legenda:**

Na figura 14, a parcela referente à cultura de cobertura, está identificada com a sigla CO.

O referido ensaio abrangeu duas parcelas, uma parcela denominada testemunha (TE) com uma dimensão experimental de  $1100\text{m}^2$  ( $39,4364449^\circ\text{N}$ ;  $8,4816515^\circ\text{W}$ ), e uma parcela identificada como cultura de cobertura (CC) com uma dimensão de  $2500\text{m}^2$  ( $39,4355131^\circ\text{N}$ ;  $8,4812180^\circ\text{W}$ ).

Na Figura 15 pode observar-se o estado da cultura principal em junho de 2024.



Figura 15: Estado da cultura do milho no campo de ensaio em junho 2024. (Fonte: SoilLife1st)

### 4.3. Tipo de solo

O solo do campo em estudo (Figura 16), apresenta uma textura franco-arenosa, sendo classificado como um solo intermédio, composto por 14% de argila, 24 % de limo e 62% de areia (Quadro 2). Este tipo de solo possui boa capacidade de infiltração e retenção quer de água quer de nutrientes, além de favorecer o arejamento (Centeno et al. 2017). No Quadro 2, são apresentados os resultados das análises física e químicas do solo, correspondentes aos períodos de março de 2023 e julho de 2024.



Figura 16: Processo de recolha de amostras de solo (Herdade Casal das Freiras).

Quadro 2: Análise de solo da Herdade Casal das Freiras - Golegã. (Fonte: Projeto Soilife1st, 2024)

Análise química e física do solo						
Campo	Casal das Freiras		Casal das Freiras - TESTEMUNHA		Casal das Freiras – Cultura de cobertura (C)	
Ref. Lab.	568		607		606	
Data colheita/entrada no lab	23/03/2023		09/07/2024		09/07/2024	
pH (H <sub>2</sub> O)	5,9	pouco ácido	4,79	ácido	4,71	ácido
Matéria Orgânica (%)	1,43	baixo	1,93	baixo	1,65	baixo
Fósforo assimilável (mg.kg <sup>-1</sup> )	121	alto	103	alto	105	alto
Potássio assimilável (mg.kg <sup>-1</sup> )	96,2	médio	254,65	muito alto	193,82	alto
Calcário Total (%)	0	não calcário	0	não calcário	0	não calcário
Ferro extraível (mg.kg <sup>-1</sup> )	113	muito alto				
Cobre extraível (mg.kg <sup>-1</sup> )	2	médio				
Zinco extraível (mg.kg <sup>-1</sup> )	2,2	médio				
Manganês extraível (mg.kg <sup>-1</sup> )	44,8	médio				
Boro extraível (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,16	muito baixo				
Ca Troca (me/100 g)	0,52	muito baixo				
Mg Troca (me/100 g)	0,73	baixo				
K Troca (me/100 g)	0,15	baixo				
Na Troca (me/100 g)	0,32	médio				
Acidez titulavel (me/100 g)	0,1					
Soma Bases Troca (me/100 g)	1,73					
Cap.Troca Catiónica (me/100 g)	1,83	muito baixo				
Areia (%)	62					
Limo (%)	24					
Argila (%)	14					
Classe de Textura	franco arenosa		fina	(textura campo)	fina	(textura campo)
dap	1,22		0,41		0,47	
elementos grosseiros (%)						

#### 4.4. Caracterização climática

Os dados meteorológicos para este trabalho foram recolhidos e tratados pela Hidrosoph, com suporte em estações meteorológicas existentes nas parcelas em estudo, que os disponibilizou através da plataforma IRRISTRAT™. Para este estudo consideraram-se as variáveis temperatura média e precipitação durante o período em que o mesmo decorreu (dezembro de 2023 a setembro de 2024).

Na Figura 17, através dos valores da precipitação média verifica-se que os meses de janeiro (103,8 mm), outubro (110,6 mm), novembro (133,9 mm) e dezembro (108,5 mm) foram os que apresentaram maior valor. Já no caso da temperatura média, a partir da Figura 18, pode-se observar que os meses mais quentes foram junho (21,5 °C), julho (23,2 °C), agosto (23,8 °C) e setembro (22,1 °C) (IPMA, 2023).

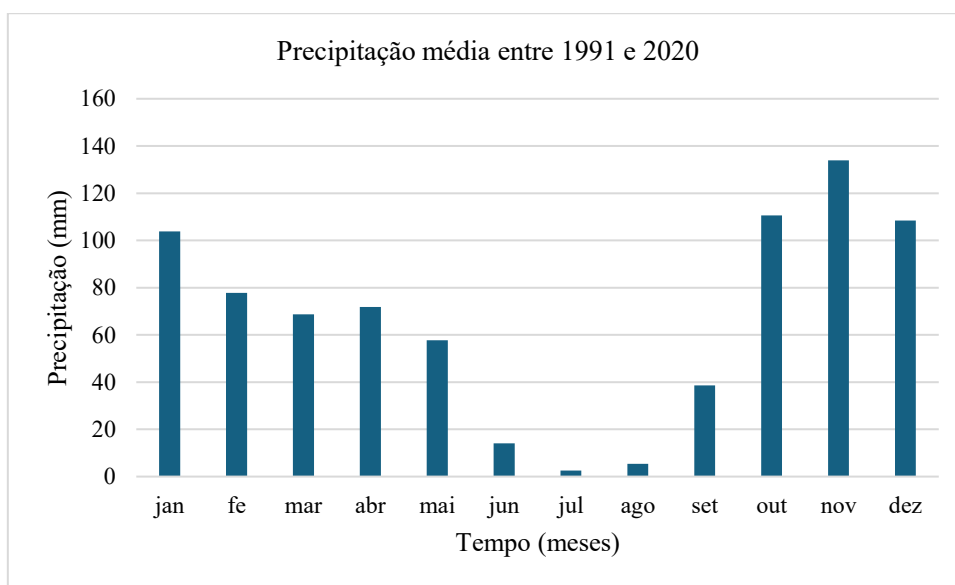


Figura 17: Precipitação média mensal no período de 1991 e 2020. (Fonte: IPMA)

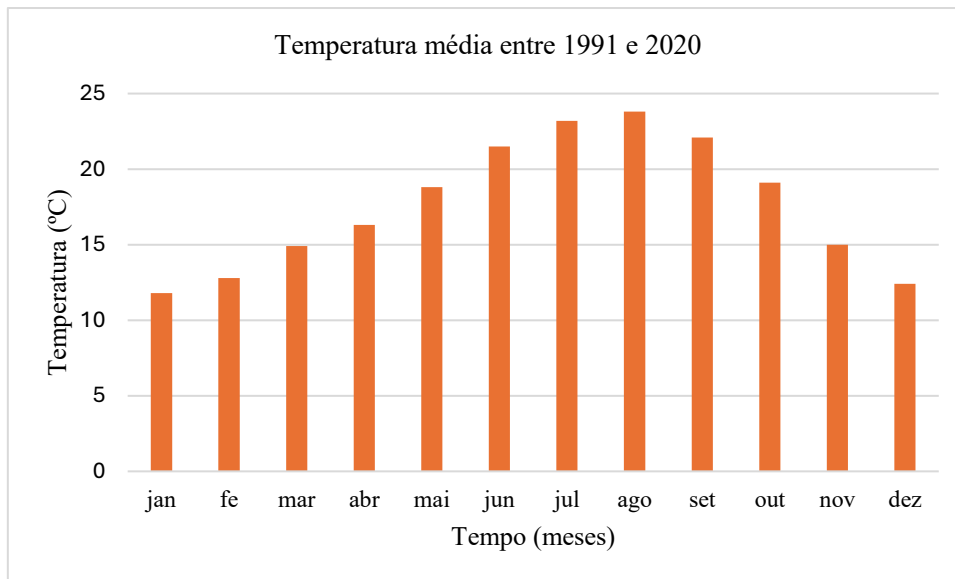


Figura 18: Temperatura média mensal no período de 1991 a 2020. (Fonte: IPMA)

#### 4.5. Metodologia para a instalação da sonda e equipamentos acessórios

Os equipamentos que estiveram nas parcelas durante os períodos Outono-Inverno e Primavera-Verão para monitorizar a água no solo com a cultura de cobertura /testemunha e com a cultura principal (milho), foram sondas do tipo capacitivo, providas de oito sensores a cada 10 cm, permitindo uma medição contínua da humidade do solo desde a superfície até aos 80 cm de profundidade (possibilitando uma melhor perceção do conforto hídrico e dos movimentos da água em profundidade). Estas sondas permitiram avaliar o perfil hídrico do solo, efetuando uma média dos valores obtidos pelos sensores, medindo a diferença de potencial, a movimentação da água no solo em termos de profundidade e verificar se existiram perdas de água em profundidade, água essa que a cultura não aproveitou. O armazenamento dos dados registados pelas sondas e a sua transmissão para a plataforma IRRISTRAT™, foi efetuado através de *loggers*. O *logger* foi montado a sul devido à sua alimentação energética solar.

Um outro equipamento utilizado nesta monitorização tratou-se do pluviómetro, instalado ao centro da linha de aspersores fixos. Este teve como finalidade a medição da precipitação local de modo comparar a dotação de rega aplicada com a dotação recomendada pela plataforma e assim otimizar um uso eficiente de água. Aquando de precipitação extrema, devem-se consultar os dados do pluviómetro bem como da estação

meteorológica e efetuar a comparação para descartar erros do sistema, validando assim a precisão das medições.

Para a instalação das sondas no solo das parcelas foram necessários uma marreta, um balde de plástico, um trado (adaptado com o diâmetro da sonda), água (suficiente para a sonda aderir ao solo) e uma pá (Figura 19).



Figura 19: Materiais utilizados na instalação da sonda.

Os critérios utilizados na instalação da sonda foram, a escolha de uma zona das parcelas onde a condutividade elétrica fosse semelhante nos dois pontos supervisionados e a possibilidade de uma melhor monitorização das modalidades em estudo.

Para a referida instalação, com auxílio de um trado, cujo diâmetro é semelhante ao da sonda que foi instalada, perfurou-se o solo retirando uma amostra do mesmo para mais facilmente a sonda entrar (Figura 20). No caso de o solo exercer resistência sobre o trado utiliza-se a marreta para ajudar na perfuração. Depois deste último passo, preparou-se uma “massa” composta por uma porção de solo representativo da parcela e água, dentro do balde envolveu-se até ficar mais homogêneo.

Colocou-se a “massa” no interior do buraco obtido pela perfuração, seguindo a inserção da sonda, com auxílio de uma marreta, neste passo existiu libertação de ar o que possibilita uma melhor aderência da mistura (água e porção de solo) formada anteriormente à superfície da sonda simulando assim a capacidade de campo do solo para posteriormente o equipamento (sonda) ser calibrado.



Figura 20: Perfil do solo, retirado através do trado no momento da instalação da sonda.

Após a instalação da sonda desconsideram-se os dados obtidos nos primeiros cinco dias tendo em conta que a capacidade de campo que esta atinge foi simulada e não corresponde à real capacidade de campo do solo.

Para este estudo as duas sondas foram instaladas no 22 de novembro de 2023, removidas para a instalação da cultura principal (milho) e novamente instaladas no dia 05 de junho de 2024 sendo que os dados foram recolhidos pelas sondas até ao final do mês de setembro de 2024.

#### **4.6.Delineamento Experimental**

O ensaio desenvolvido teve como finalidade comparar o teor de água armazenada no solo, nas duas modalidades em estudo, a testemunha (TE) e a cultura de cobertura (CC) e verificar em que medida estas duas modalidades foram relevantes para o desenvolvimento da cultura principal. Para tal avaliou-se o teor de água no solo (a cada 10 cm), o comprimento das raízes, a massa em seco e em verde das raízes e parte aérea das plantas, em cada modalidade.

A primeira diz respeito à utilização de uma parcela sem a presença de culturas de cobertura como antecedente cultural e a outra trata-se de uma parcela experimental com a instalação de uma cultura de cobertura, constituída por uma mistura biodiversa, adaptada ao ciclo cultural da cultura principal, que neste caso é o milho.

Foi realizada a monitorização do teor de água no solo tanto no período de Outono-Inverno como no período de Primavera/Verão.

Neste caso particular, foram analisados os primeiros 40 cm de profundidade do solo (tendo em conta o comprimento radicular das amostras das plantas recolhidas no campo) de forma a avaliar a humidade do solo. Para tal selecionaram-se cinco plantas de cada modalidade, de forma aleatória, colhidas em três recolhas separadas por um intervalo de tempo de três semanas, de modo fazer a comparação entre as amostras e obter-se uma maior robustez nos dados. A primeira recolha foi realizada no dia 12 de junho de 2024, num momento em que a planta apresentava um comprimento entre 30 cm e 50 cm, correspondendo, aproximadamente ao período vegetativo da sexta folha expandida (V6). A segunda recolha foi feita após decorridas três semanas, no dia 04 de julho de 2024, no qual o milho se encontrava a iniciar o período de embandeiramento (VT). A terceira e última recolha realizou-se, passadas novamente três semanas, no dia 24 de julho de 2024, onde as plantas encontravam-se na fase do aparecimento das sedas (R1). Este procedimento permitiu comparar o teor de humidade no solo a cada 10 cm de profundidade e o desenvolvimento radicular (comprimento e massa das raízes), parte aérea (massa fresca e massa seca) nas duas situações experimentais, com e sem cobertura vegetal como antecedente. Esperando assim verificar se as plantas respondiam de forma diferente ao teor de humidade ao longo do perfil do solo e da presença do coberto vegetal, nomeadamente ao nível do desenvolvimento radicular (comprimento).

## **4.7.Recolha e processamento de amostras**

### **4.7.1. Recolha de amostras no campo**

O procedimento de recolha de amostras no campo, consistiu em escavar cuidadosamente o solo ao redor do caule, com o objetivo de evitar danos na estrutura da planta. Assim que o solo apresentou menor resistência, a amostra foi retirada integralmente e acondicionada num saco de plástico devidamente identificado (Figura 21). Este procedimento foi replicado para um total de dez amostras, sendo cinco de cada modalidade, nos três períodos de amostragem.

Para este procedimento, remoção das plantas do solo, no primeiro dia de recolha de amostras, utilizou-se uma pá e um ancinho. Já no que diz respeito às duas últimas recolhas realizadas, considerando as elevadas dimensões das plantas, a medição do comprimento da parte aérea foi efetuada no local de amostragem (campo), seguidamente, para a sua remoção recorreu-se a um sacho, auxiliado por uma pá. Após a planta ser removida

utilizou-se uma tesoura de poda para separar a parte aérea da parte radicular. A parte aérea foi dividida, no próprio local, de forma a facilitar o acondicionamento adequado em sacos previamente identificados tendo em conta o comprimento da planta (Figura 22).



Figura 21: Procedimento de extração da planta do solo, acondicionamento e organização das amostras.



Figura 22: Extração das amostras e lavagem das mesmas.

#### 4.8. Tratamento do material recolhido

Para o tratamento do material recolhido, já no laboratório, na primeira recolha de amostras, foi realizada uma limpeza cuidadosa das raízes, com o intuito de remover o excesso de partículas de solo que se encontravam aderidas, utilizando água como método de lavagem. Seguidamente com auxílio de uma faca, realizou-se a separação do caule das raízes. Após a referida separação, procedeu-se à medição do comprimento das partes radicular (desde a base até à extremidade maior) e aérea (da base do caule à extremidade mais longa da folha) mensurando com recurso a uma fita métrica (Figura 23 e 24).



Figura 23: Limpeza e medição das partes aérea e radicular das amostras.



Figura 24: Processo de Limpeza e medição da parte radicular realizado na segunda e terceira recolha de amostras.

No que diz respeito ao tratamento do material recolhido nos dois últimos períodos de recolha de amostras, devido ao elevado comprimento das plantas, o registo do comprimento da parte aérea foi feito no campo, efetuando-se somente no laboratório a pesagem em fresco, o tratamento e análise da parte radicular (lavagem, medição e pesagem das raízes) (Figura 24). Os dados foram registados para posteriormente serem analisados.

Depois da medição do comprimento em fresco das partes radicular e aérea, utilizando uma balança de precisão, foi determinada a sua massa fresca (em verde) seguindo um protocolo com a metodologia definida (Figura 25), as amostras foram colocadas numa estufa de secagem durante sete dias a uma temperatura constante de 70°C, finalizando este período procedeu-se à pesagem da massa seca. Para o procedimento da medição da massa, foram utilizadas caixas de alumínio previamente tareadas, nas quais as amostras foram acondicionadas individualmente para a determinação das massas (Figura 26).



Figura 25: Pesagem da massa verde da parte aérea e radicular e respetiva desidratação.



Figura 26: Acondicionamento na estufa de secagem e pesagem da massa seca das raízes e parte aérea.

## 5. Resultados e discussão

O presente capítulo apresenta e analisa os principais resultados do estudo desenvolvido nesta dissertação, identificando as diferenças entre as duas modalidades estudadas (TE – testemunha e CC – cultura de cobertura), nomeadamente ao nível do desenvolvimento das plantas do milho a partir da análise dos parâmetros, peso seco e verde da parte aérea e radicular e a variação do teor de humidade em quatro profundidades (10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm), sob influência ou não das culturas de cobertura como antecedente cultural.

Os Quadros 3, 4 e 5 dizem respeito aos dados recolhidos quer no campo quer em laboratório, em cada modalidade nas três recolhas efetuadas. Foram analisadas dez amostras, cinco de cada modalidade.

O tratamento dos dados consistiu no cálculo das médias e respetivos desvios padrão uma vez que o número e a “qualidade” dos dados recolhidos não foi considerado suficiente para um tratamento estatístico robusto. Algumas recolhas realizadas, devido às condições do solo, impossibilitaram a extração integral das plantas o que constituiu uma limitação adicional ao processo de recolha.

Quadro 3: Dados das 10 amostras de plantas, 5 de cada modalidade, recolhidos a 12 de junho.

Recolha: 12/junho/2024; Pesagem: 20/junho/2024							
Plantas/ Amostra	Parte Aérea (g)		Parte Radicular (g)		Comprimento (m)		
	Verde	Seco	Verde	Seco	Raízes	Parte Aérea	Nº Folhas
TE1	42,9	4,6	9,9	2,2	0,160	0,560	7,0
TE2	61,5	6,7	10,5	2,2	0,132	0,797	8,0
TE3	64,6	6,9	10,6	2,4	0,200	0,732	7,0
TE4	58,4	6,8	7,4	1,2	0,180	0,765	8,0
TE5	78,3	7,9	10,6	4,4	0,163	0,832	8,0
TOTAL	305,7	32,8	49,0	12,4	0,835	3,686	38,0
Média	61,1	6,6	9,8	2,5	0,167	0,737	7,6
DP	12,7	1,2	1,4	1,2	0,025	0,106	0,5
CC1	33,3	4,6	4,9	1,9	0,110	0,210	8,0
CC2	33,0	4,3	4,1	1,7	0,114	0,575	7,0
CC3	30,1	3,2	7,8	2,0	0,160	0,560	7,0
CC4	56,6	6,8	7,9	2,2	0,200	0,725	6,0

CC5	34,5	4,3	8,4	2,2	0,135	0,580	7,0
TOTAL	187,5	23,3	33,1	9,9	0,719	2,650	35,0
Média	37,5	4,7	6,6	2,0	0,144	0,530	7,0
DP	10,8	1,3	2,0	0,2	0,037	0,191	0,7

Quadro 4: Dados das 10 amostras de plantas, 5 de cada modalidade, recolhidos a 4 de julho.

<b>Recolha: 4/julho/2024; Pesagem: 12/julho/2024</b>							
Plantas/ Amostra	Parte Aérea		Parte Radicular		Comprimento		
	Verde (g)	Seco	Verde (g)	Seco	Raízes (m)	Parte Aérea	Nº Folhas
TE1	1018,3	92,3	154,3	22,8	0,3	2,2	11,0
TE2	760,6	67,5	95,4	16,5	0,3	2,0	14,0
TE3	693,1	61,1	142,1	26,5	0,4	1,9	11,0
TE4	1009,4	97,1	191,4	31,7	0,3	2,2	12,0
TE5	899,3	87,7	134,7	19,3	0,3	2,2	12,0
TOTAL	4380,7	405,7	717,9	116,8	1,6	10,6	60,0
Média	876,1	81,1	143,6	23,4	0,3	2,1	12,0
DP	146,1	15,9	34,7	6,0	0,0	0,1	1,2
CC1	558,9	50,5	113,3	15,8	0,3	1,9	11,0
CC2	743,4	72,5	107,5	12,8	0,2	1,9	12,0
CC3	620,9	62,2	113,6	23,5	0,3	1,9	11,0
CC4	743,1	75,1	133,1	28,9	0,4	2,0	13,0
CC5	635,8	57,8	68,4	12,1	0,4	1,9	11,0
TOTAL	3302,2	318,2	535,8	93,0	1,5	9,5	58,0
Média	660,4	63,6	107,2	18,6	0,3	1,9	11,6
DP	80,9	10,2	23,7	7,3	0,1	0,1	0,9

Quadro 5: Dados das 10 amostras de plantas, 5 de cada modalidade, recolhidos a 24 de julho.

<b>Recolha: 24/julho/2024; Pesagem: 1/agosto/2024</b>							
Plantas/ Amostra	Parte Aérea (g)		Parte Radicular (g)		Comprimento (m)		
	Verde	Seco	Verde	Seco	Raízes	Parte Aérea	NºFolhas
TE1	1231,1	294,3	-	-	-	3,9	12,0
TE2	840,4	114,8	87,7	15,4	0,29	3,4	13,0
TE3	959,5	229,1	-	-	-	3,5	13,0
TE4	1104,8	248,3	-	-	-	3,9	14,0
TE5	1198,7	178,8	-	-	-	4,0	14,0
TOTAL	5334,5	1065,2	87,7	15,4	0,29	18,6	66,0

Média	1066,9	213,0	87,7	15,4	0,29	3,7	13,2
DP	164,8	68,8	-	-	-	0,2	0,8
CC1	896,3	228,4	207,7	58,1	0,40	3,6	13,0
CC2	994,1	156,7	165,3	52,3	0,34	3,4	13,0
CC3	1243,1	279,0	148,7	26,3	0,32	3,4	13,0
CC4	1240,2	194,0	369,9	110,4	0,34	3,9	13,0
CC5	1279,1	167,1	254,4	57,8	0,36	4,0	14,0
TOTAL	5652,8	1025,3	1146,0	304,9	1,76	18,2	66,0
Média	1130,6	205,1	229,2	61,0	0,35	3,6	13,2
DP	173,4	49,8	88,7	30,6	0,03	0,3	0,4

Com a análise dos dados obtidos durante os três momentos de recolha, podemos deduzir que há diferenças entre as duas modalidades em estudo, testemunha (TE) e a cultura de cobertura (CC), no que diz respeito ao desenvolvimento vegetativo. Nas duas primeiras datas de recolhas, os valores obtidos a partir da análise das amostras (biomassa verde aérea e radicular), mostram que as plantas de milho da modalidade TE devolveram-se mais comparativamente com as da modalidade CC. No entanto a meio do ciclo vegetativo da cultura principal, verificou-se uma maior massa aérea (em verde) na modalidade CC.

No Quadro 5, observam-se valores em falta, tal deve-se ao facto de não ter sido possível retirar a amostra da parte radicular das plantas da modalidade testemunha uma vez que o solo apresentava elevada compactação e um estado de reduzida humidade à superfície, pelo que as raízes ficaram retidas no solo (partiram-se no processo de remoção) como se pode observar na Figura 27. Essas condições podem-se comprovar no Quadro 7, não tendo a cultura da modalidade TE sido regada nesse dia.



Figura 27: Amostra radicular (modalidade TE) retida no solo e danificada no processo de remoção.

No dia 12 de junho (data da primeira recolha), verificaram-se para as médias da massa seca da parte aérea de 6,6 g na TE e 4,7 g na CC, tendo um aumento considerável nas duas recolhas seguintes, tal como previsível devido ao desenvolvimento das plantas. No dia 24 de julho (data da terceira recolha), o valor médio obtido para a massa seca da parte aérea da TE foi de 213,0 g e da CC de 205,1 g o que indica uma aproximação em termos do desenvolvimento vegetativo do milho, ainda que seja uma diferença reduzida. Os dados médios obtidos para a massa (verde) aérea na última recolha, revelaram-se superiores na modalidade CC (1130,6 g) comparativamente com a TE (1066,9 g).

No que diz respeito à média da massa seca da parte radicular, o valor foi superior na TE em comparação com a CC nas primeiras recolhas (não podendo analisar a última tendo em conta a impossibilidade de extração das amostras). Da primeira amostragem para a segunda houve um aumento em termos de massa (verde e seca) o que se justifica com o crescimento radicular.

Analisando o desvio padrão obtido (DP) nas três recolhas da parte aérea em seco, verificam-se diferenças entre as duas modalidades em estudo nos dois últimos momentos de recolha (segunda e terceira amostragens). Na primeira amostragem (12 de junho de 2024), os valores obtidos de DP foram semelhantes nas duas modalidades, 1,2 na TE e 1,3 na CC o que indicou baixa variabilidade entre plantas. Já nas duas últimas recolhas (04 de julho de 2024 e 24 de julho de 2024) os valores obtidos de DP foram inferiores na modalidade CC, indicando assim uma maior homogeneidade entre as plantas desta modalidade. Ainda que os valores sejam próximos, a variabilidade foi mais expressiva na modalidade testemunha. Estas diferenças sugerem que os fatores (melhoria da estrutura do solo, manutenção do teor de água) na modalidade cultura de cobertura favoreceram o desenvolvimento das plantas.

Na Figura 28, pode-se verificar a precipitação média referente aos meses em que as amostras foram recolhidas, com base nos dados disponibilizados pela Hidrosoph. Pode-se então inferir que durante o período no qual a cultura, milho, esteve no terreno os valores mensais ao nível da precipitação foram muito baixos, registando-se 0,26 mm em maio e 1,48 mm em junho.

Os valores da temperatura são apresentados na Figura 29. Os valores máximos referentes aos meses mais quentes foram 23,63 °C (junho), 26,86 °C (julho), 27,14 °C (agosto) e 23,93 °C (setembro), valores superiores aos correspondentes dados para o período de

1991 a 2020 em que as médias dos valores máximos nos meses de junho, julho, agosto e setembro foram respetivamente 21,5 °C, 23,2 °C, 23,8 °C e 22,1 °C.

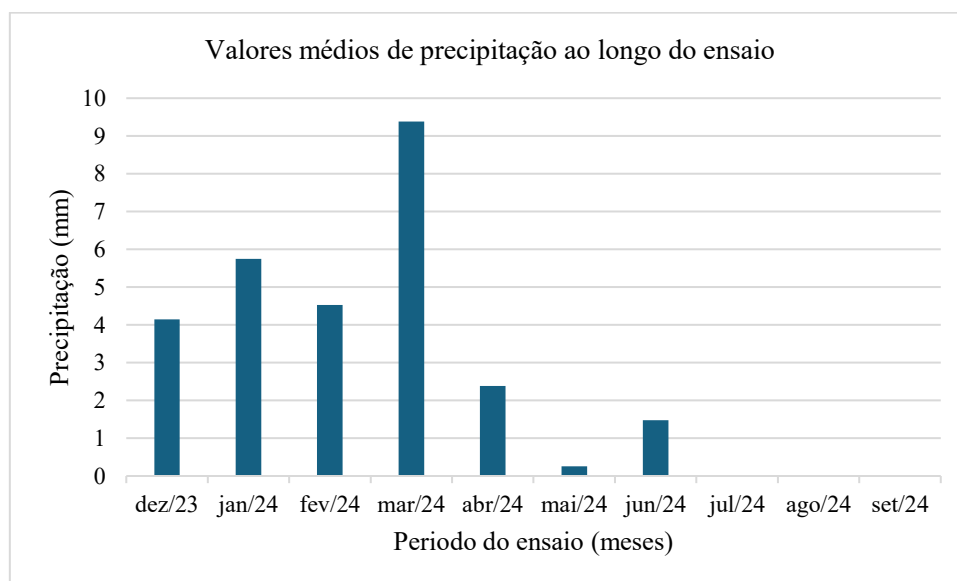


Figura 28: Precipitação média ao longo do ensaio (dezembro de 2023 a setembro de 2024). (Fonte: IRRISTRAT™)

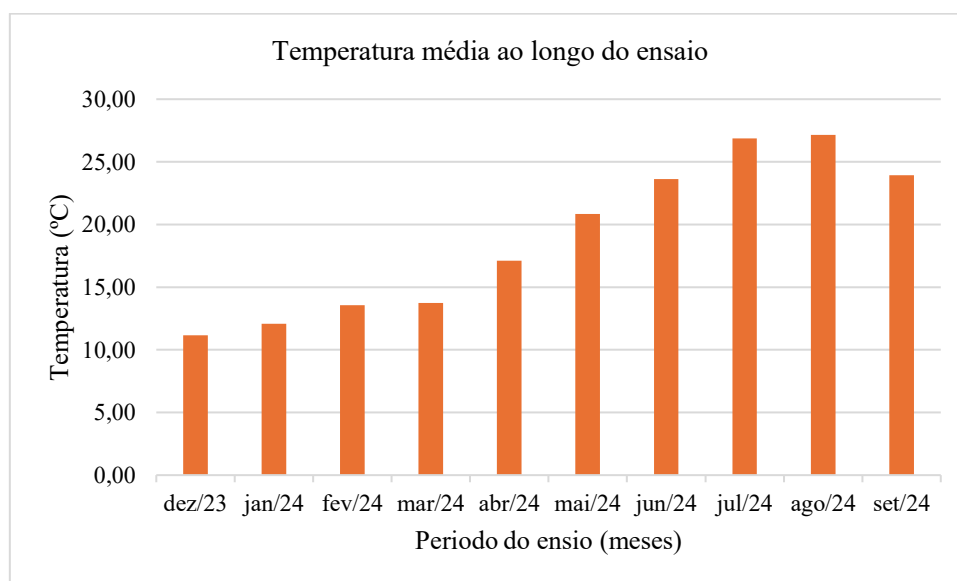


Figura 29: Temperatura média ao longo do ensaio (dezembro de 2023 a setembro de 2024). (Fonte: IRRISTRAT™)

O Quadro 6, apresenta os valores médios de precipitação, de evapotranspiração e de temperatura durante o período de Outono/Inverno desde dezembro de 2023 a abril de 2024, na modalidade CC (cultura de cobertura), enquanto a cultura de cobertura esteve instalada no solo. Observando estes dados pode-se verificar que o valor médio de precipitação mais elevado registou-se em março atingindo 9,38 mm, por outro lado o mais

baixo foi no mês de abril com 2,38 mm, para este mesmo período nas normais climatológicas de 1991 a 2020, o mês com precipitação média mais elevada foi dezembro e o mês cuja precipitação apresentou valores inferiores foi março, não correspondendo aos meses verificados no período 2023-2024. No que diz respeito aos valores médios de evapotranspiração, o valor mais baixo, 0,78 mm, verificou-se de igual forma em dezembro e janeiro e o mais alto em abril, 4,14 mm. Em termos de temperatura, o valor mais elevado registou-se em abril (17,12 °C) e o mais baixo em dezembro (11,17 °C), valores próximos dos das normais climatológicas de 1991 a 2020 nas quais abril registou 16,3 °C e dezembro 12,4 °C.

Quadro 6: Valores médios de Precipitação, Evapotranspiração e Temperatura na modalidade CC, durante o período outono-inverno.

Valores médios - Outono/Inverno			
Mês	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Temperatura (°C)
dez/23	4,15	0,78	11,17
jan/24	5,75	0,78	12,07
fev/24	4,53	1,55	13,57
mar/24	9,38	2,28	13,75
abr/24	2,38	4,14	17,12

No que diz respeito aos parâmetros hídricos, através da plataforma de recolha e tratamento de dados (IRRISTRAT™), pode-se observar a partir das Figuras 30 e 31 a quantidade de água (m<sup>3</sup>/ha) disponibilizada à cultura semanalmente nas duas parcelas, TE e CC.

As Figuras 30 e 31 e o Quadro 7, indicam-nos que apesar das duas parcelas estudadas apresentarem no calendário de rega uma dotação estipulada igual (6583,97 m<sup>3</sup>/ha), os valores registados em cada uma das modalidades pelo pluviómetro foram diferentes. A parcela TE mostrou uma maior variabilidade, com picos nas regas registados pelo pluviómetro enquanto a parcela CC possuiu uma distribuição de água mais uniforme.

A quantidade de água disponibilizada à cultura através da rega foi superior na parcela da modalidade TE. Já os valores do teor de humidade no solo, medidos através dos sensores, mostram-nos que apesar da quantidade água disponibilizada ter sido superior na TE a humidade do solo medida através das sondas apresenta valores mais estáveis ao longo do tempo na parcela CC.

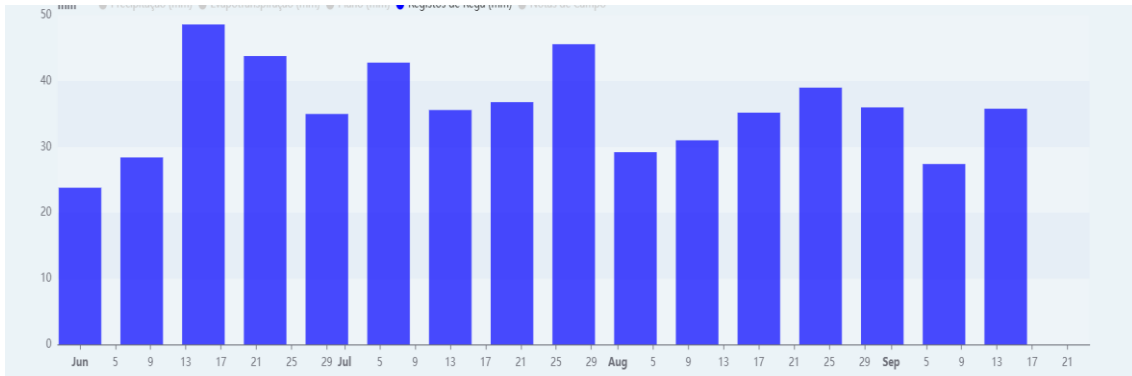


Figura 30: Quantidade de água disponibilizada semanalmente - Modalidade TE. (Fonte: IRRISTRAT)

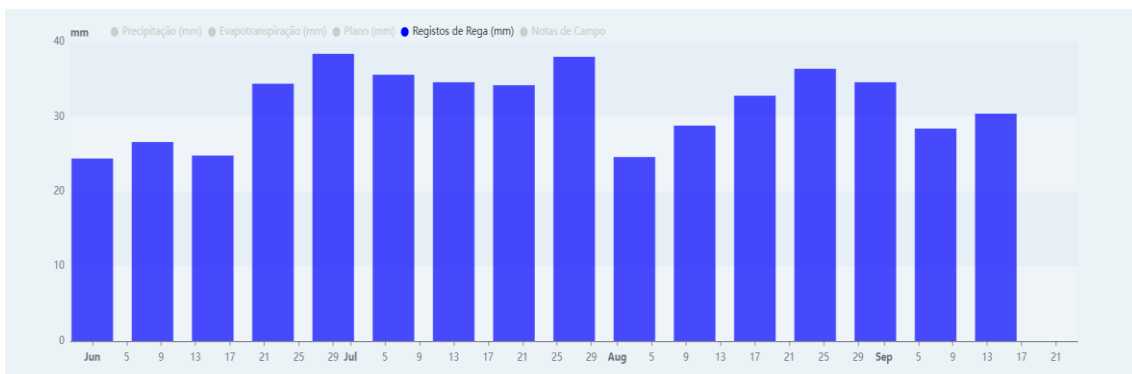


Figura 31: Quantidade de água disponibilizada semanalmente – Modalidade CC. (Fonte: IRRISTRAT)

Quadro 7: Quantidade de água prevista para o decorrer da cultura (calendário de rega) e a água realmente disponibilizada através da rega.

	CC		TE	
	Calendário de Rega (m3/ha)	Registo Pluviómetro (m3/ha)	Calendário de Rega (m3/ha)	Registo Pluviómetro (m3/ha)
05/06/2024	29,3	68	29,3	0
06/06/2024	35,13	4	35,13	8
07/06/2024	0	110	0	28
08/06/2024	0	62	0	202
09/06/2024	0	0	0	0
10/06/2024	0	92	0	0
11/06/2024	76,33	0	76,33	90
12/06/2024	44,55	88	44,55	0
13/06/2024	43,77	0	43,77	94
14/06/2024	0	86	0	0
15/06/2024	84,22	0	84,22	100
16/06/2024	0	0	0	0
17/06/2024	75,79	42	75,79	2
18/06/2024	0	104	0	334
19/06/2024	0	26	0	34

20/06/2024	0	0	0	0
21/06/2024	92,66	76	92,66	0
22/06/2024	66,45	0	66,45	116
23/06/2024	66,54	0	66,54	0
24/06/2024	73,13	0	73,13	0
25/06/2024	0	62	0	78
26/06/2024	100	0	100	0
27/06/2024	0	96	0	114
28/06/2024	0	78	0	106
29/06/2024	0	108	0	140
30/06/2024	0	2	0	6
01/07/2024	108	56	108	40
02/07/2024	100,34	108	100,34	102
03/07/2024	76,08	2	76,08	0
04/07/2024	83,34	124	83,34	88
05/07/2024	76,84	0	76,84	0
06/07/2024	76,3	92	76,3	114
07/07/2024	80,69	0	80,69	0
08/07/2024	78,24	48	78,24	78
09/07/2024	0	98	0	122
10/07/2024	108	120	108	0
11/07/2024	97,29	0	97,29	120
12/07/2024	93,09	90	93,09	0
13/07/2024	83,48	0	83,48	108
14/07/2024	0	60	0	0
15/07/2024	108	96	108	78
16/07/2024	108	2	108	88
17/07/2024	103,32	106	103,32	0
18/07/2024	101,56	0	101,56	106
19/07/2024	93,75	82	93,75	0
20/07/2024	0	0	0	84
21/07/2024	108	54	108	0
22/07/2024	108	98	108	70
23/07/2024	108	0	108	114
24/07/2024	108	106	108	0
25/07/2024	108	0	108	102
26/07/2024	108	84	108	0
27/07/2024	107,47	0	107,47	82
28/07/2024	86,72	62	86,72	0
29/07/2024	0	136	0	112
30/07/2024	107,5	0	107,5	126
31/07/2024	0	96	0	0
01/08/2024	108	0	108	110

02/08/2024	108	86	108	0
03/08/2024	108	0	108	108
04/08/2024	108	66	108	0
05/08/2024	108	82	108	64
06/08/2024	108	0	108	110
07/08/2024	98,25	0	98,25	0
08/08/2024	0	0	0	0
09/08/2024	108	98	108	0
10/08/2024	108	0	108	118
11/08/2024	0	0	0	0
12/08/2024	108	84	108	0
13/08/2024	108	0	108	58
14/08/2024	108	72	108	0
15/08/2024	108	40	108	126
16/08/2024	103,25	64	103,25	0
17/08/2024	96,09	28	96,09	126
18/08/2024	92,66	48	92,66	0
19/08/2024	91,25	66	91,25	62
20/08/2024	88,59	28	88,59	90
21/08/2024	0	68	0	0
22/08/2024	108	30	108	88
23/08/2024	108	60	108	0
24/08/2024	0	28	0	112
25/08/2024	108	56	108	0
26/08/2024	0	68	0	52
27/08/2024	108	32	108	114
28/08/2024	108	62	108	0
29/08/2024	0	32	0	100
30/08/2024	0	80	0	0
31/08/2024	0	34	0	124
01/09/2024	108	58	108	0
02/09/2024	108	52	108	62
03/09/2024	0	28	0	96
04/09/2024	0	76	0	0
05/09/2024	108	40	108	98
06/09/2024	0	62	0	0
07/09/2024	0	30	0	104
08/09/2024	108	0	108	0
09/09/2024	0	62	0	0
10/09/2024	108	32	108	118
11/09/2024	0	56	0	0
12/09/2024	108	26	108	98
13/09/2024	0	74	0	0

14/09/2024	0	34	0	58
15/09/2024	108	0	108	0
16/09/2024	0	68	0	0
17/09/2024	0	30	0	90
18/09/2024	0	62	0	0
19/09/2024	0	144	0	266
20/09/2024	0	0	0	2
21/09/2024	0	0	0	0
22/09/2024	108	0	108	0
23/09/2024	0	0	0	0
24/09/2024	0	28	0	38
25/09/2024	0	26	0	36
26/09/2024	0	78	0	114
27/09/2024	0	4	0	6
28/09/2024		0		0
29/09/2024		0		0
30/09/2024		0		0
<b>TOTAL</b>	6583,97	5206	6583,97	5934
<b>REGA</b>				

A Figura 32, indica-nos a percentagem de humidade do solo em quatro profundidades distintas (10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm), na modalidade CC durante o período de Outono/Inverno no qual a cultura de cobertura esteve instalada na parcela em estudo. Ao observar os valores, constata-se que tal como no período de Primavera/Verão aos 40 cm de profundidade existe maior estabilidade hídrica no solo. O maior aumento no teor de humidade ocorre entre janeiro e março nos 10 cm, 20 cm e 30 cm, descendo a partir de março nas quatro profundidades, o que pode ter origem na subida da temperatura e na diminuição da precipitação. Aos 40 cm de profundidade o teor de humidade no solo tende a ser mais estável.

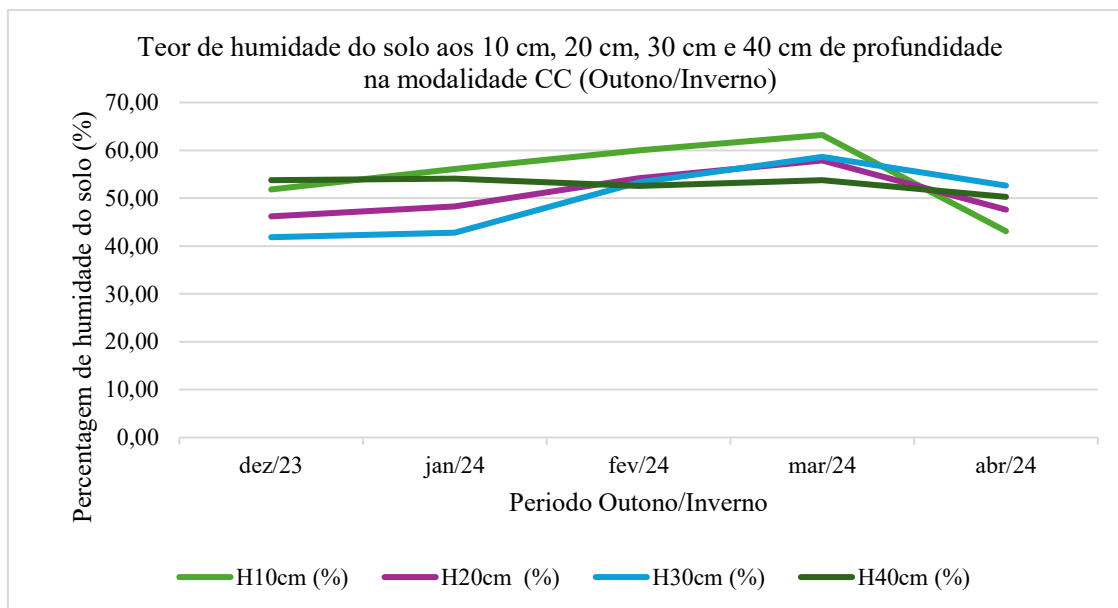


Figura 32: Percentagem de humidade do solo aos 10 cm, 20 cm, 30cm e 40 cm de profundidade ao longo do tempo (Outono/Inverno) na modalidade CC (cultura de cobertura).

As Figuras 33, 34, 35 e 36 dizem respeito ao teor de humidade no solo no período de Primavera/Verão nas duas modalidades TE (testemunha) e CC (cultura de cobertura) em quatro profundidades diferentes (dos 10 cm aos 40 cm).

Ao analisar a Figura 33, observa-se que, na modalidade testemunha (TE), os níveis de água no solo (%) foram superiores aos 10 cm de profundidade.

A partir do dia 31 de julho a modalidade testemunha apresenta um pico na percentagem de água atingindo valores superiores a 60%, sendo que a partir deste mesmo dia esta diferença entre as duas modalidades em estudo manteve-se embora com uma diferença apenas de 10%. Esta percentagem pode justificar-se com a rega do dia anterior (30 de julho) de 126 m<sup>3</sup>/ha (Quadro 7).

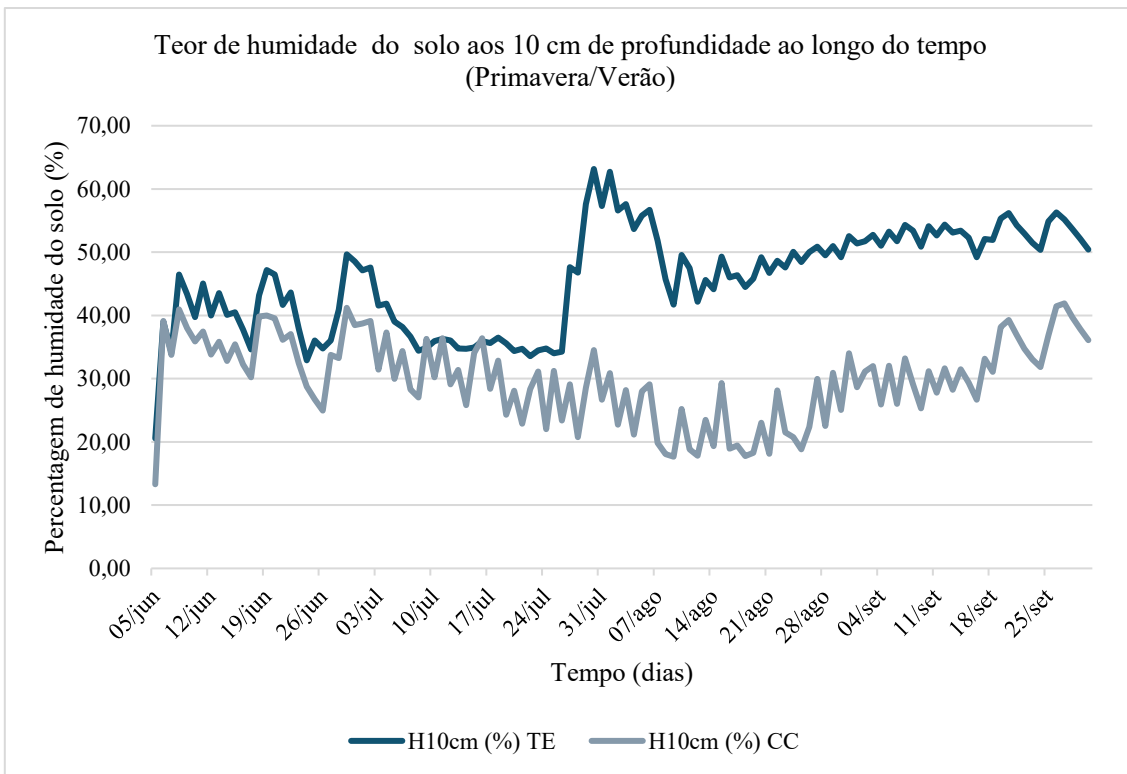


Figura 33: Percentagem de humidade do solo aos 10 cm de profundidade ao longo do tempo nas duas parcelas em estudo no período de Primavera/Verão.

Na Figura 34, é analisada a percentagem de humidade do solo a 20 cm de profundidade. Observa-se, neste caso, que a percentagem de humidade do solo, nesta profundidade, foi similar à registada a 10 cm, nas duas modalidades, até o dia 10 de julho. A partir dessa data, começam a surgir diferenças nos valores observados, com destaque para o dia 31 de julho, no qual a modalidade testemunha apresenta um pico em termos de humidade, alcançando valores próximos a 60%. A partir do referido pico, assim como ocorreu aos 10 cm de profundidade, a diferença nos níveis de humidade entre as duas modalidades mantém-se com uma diferença aproximada de 15%.

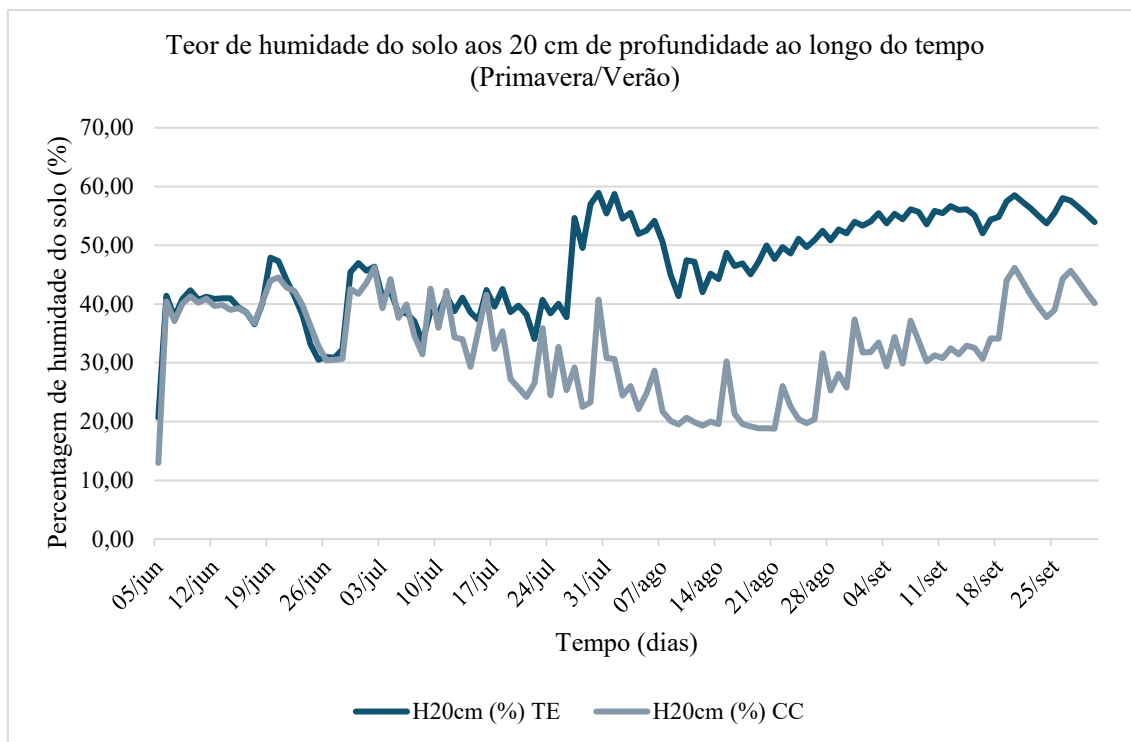


Figura 34: Percentagem de humidade do solo aos 20 cm de profundidade ao longo do tempo nas duas parcelas em estudo no período de Primavera/Verão.

No que diz respeito às Figuras 35 e 36, observa-se que os valores de humidade do solo em profundidade, a 30 cm e 40 cm, exibem uma diferença entre as duas modalidades analisadas ao longo do período do estudo, desde o início até à sua conclusão.

Assim é possível atestar que a percentagem de humidade no solo, medida nas quatro profundidades avaliadas a partir dos sensores incorporados nas sondas previamente instaladas nas duas parcelas, apresentou valores mais elevados na modalidade testemunha, ainda que a diferença entre estes valores não tenha sido, aparentemente, grande.

Contrariamente ao que os autores (Campos et al., 1994; Koudahe et al. (2022)) mencionam acerca do potencial de retenção de água no solo por parte das culturas de cobertura como antecedente cultural, observou-se, neste estudo em particular, uma percentagem de humidade superior na parcela TE a 20 cm e 40 cm de profundidade, na qual se manteve o restolho do milho durante o período de Outono/Inverno. Um dos fatores que possam ter levado a estes resultados tem a ver com a instalação de culturas forrageiras, por parte do agricultor, na totalidade da parcela em anos anteriores ao estudo.

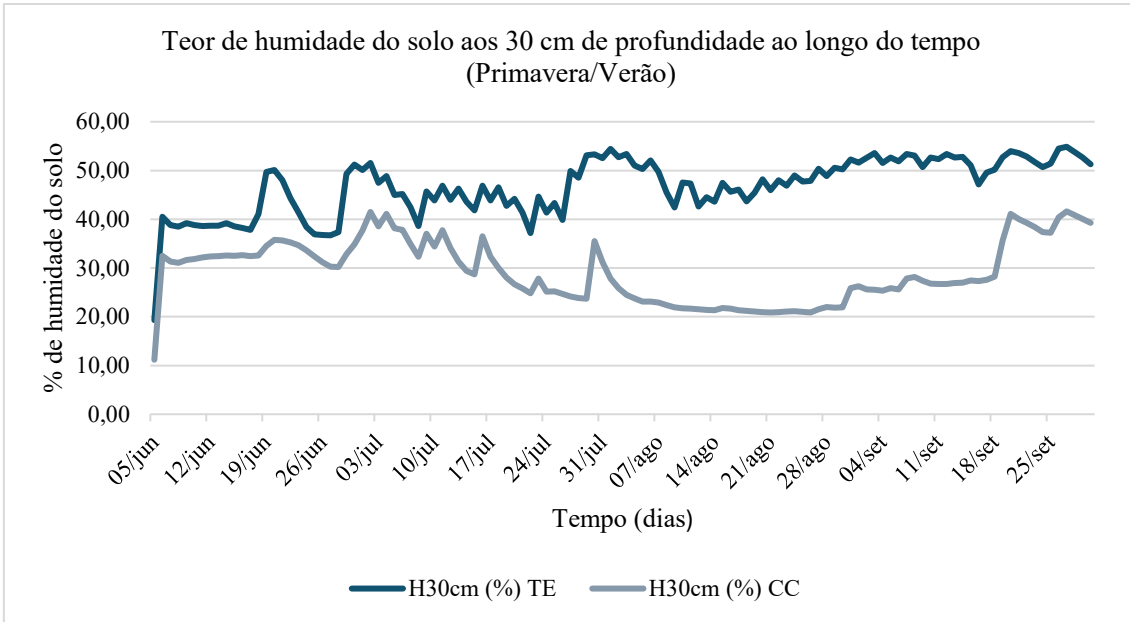


Figura 35: Percentagem de humidade do solo aos 30 cm de profundidade ao longo do tempo nas duas parcelas em estudo no período de Primavera/Verão.

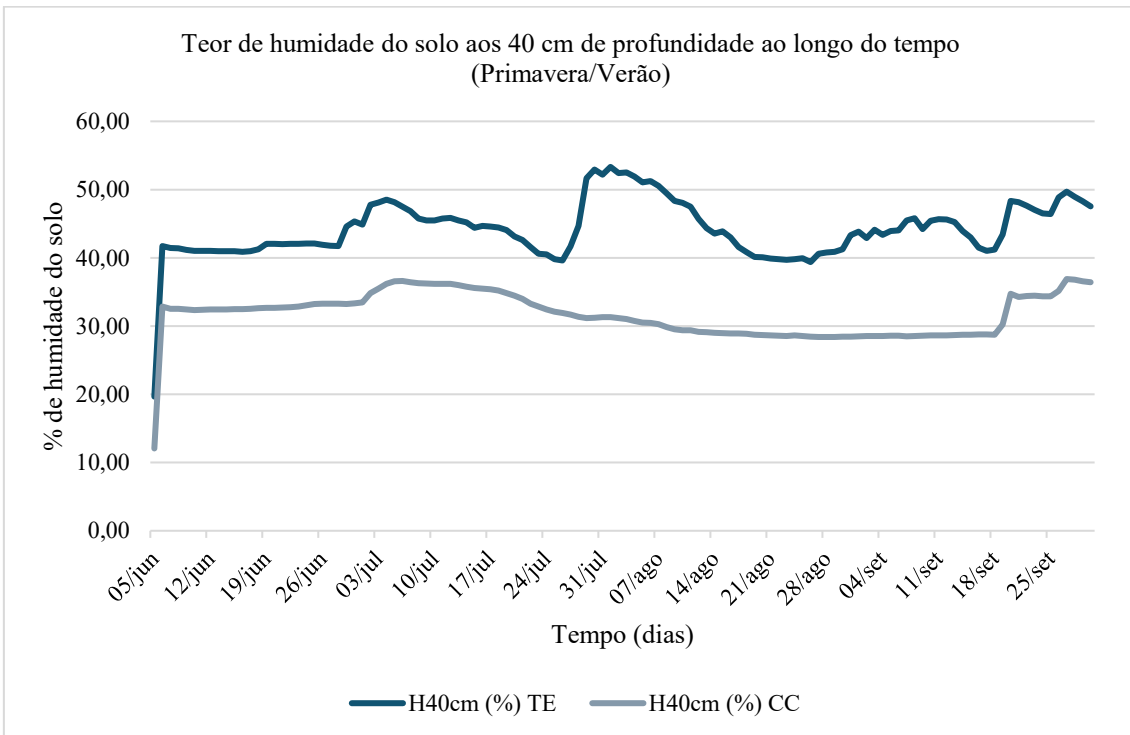


Figura 36: Percentagem de humidade do solo aos 40 cm de profundidade ao longo do tempo nas duas parcelas em estudo no período de Primavera/Verão.

Ao analisar as Figuras 33, 34, 35 e 36 constata-se que para diferentes profundidades a parcela CC, apresentou uma maior estabilidade em termos de humidade do solo, sobretudo nos 40 cm de profundidade, embora os valores de biomassa da parte aérea tenham sido inferiores. Tal acontecimento indica que o coberto vegetal favorece a manutenção dos níveis de humidade do solo, reduzindo a evaporação e melhorando a infiltração.

Nas Figuras 37 e 38 apresentam-se duas retas em cada modalidade, TE (testemunha) e CC (cultura de cobertura), que traduzem a variação do peso da parte aérea da planta (em verde e em seco) nos períodos entre amostragens: uma reta para o período compreendido entre a primeira e a segunda amostragem e a uma reta para o período compreendido entre a segunda e a terceira amostragem.

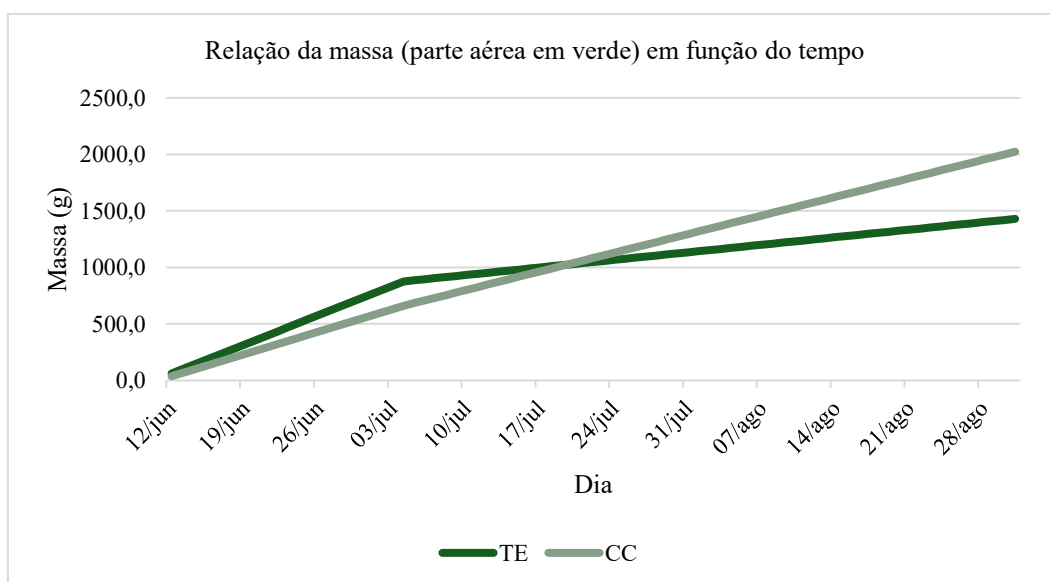


Figura 37: Relação massa verde da parte aérea ao longo do tempo.

Na Figura 37, na modalidade TE, foram obtidas para a massa em verde da parte aérea, as seguintes equações,  $y = -6014,27 + 37,05x$  e  $y = -897,89 + 9,54x$ , sendo  $x$  o número de dias. Já na modalidade CC, as equações foram,  $y = -4606,13 + 28,31x$  e  $y = -3711,73 + 23,51x$ .

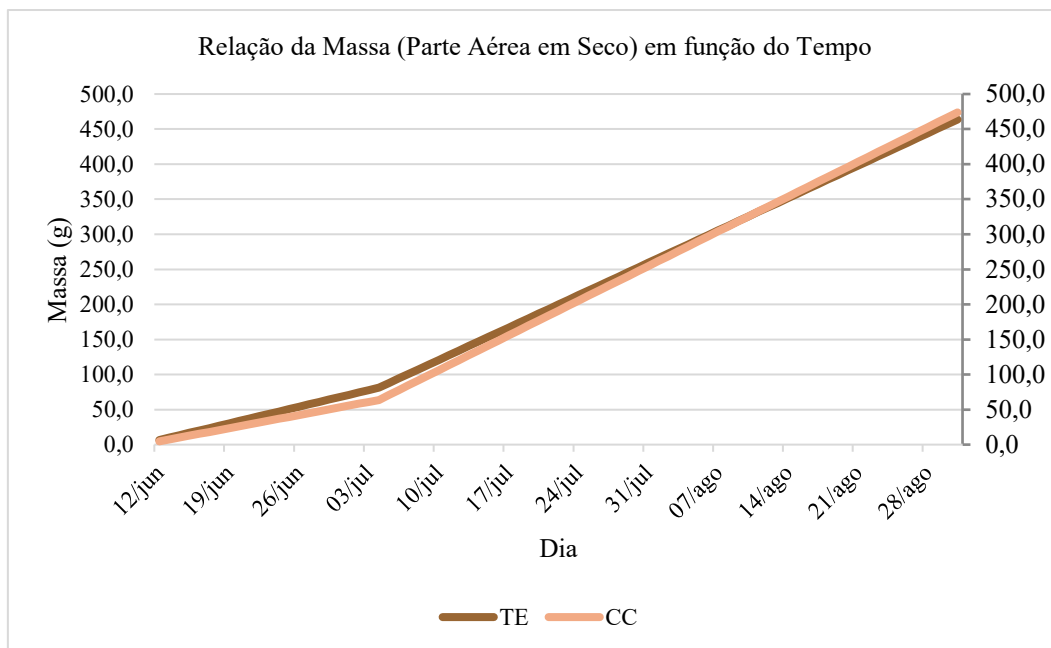


Figura 38: Relação massa seca da parte aérea ao longo do tempo.

Na Figura 38, para a modalidade TE, referente à massa seca da parte aérea, obtiveram-se duas equações,  $y = -549,36 + 3,39x$  e  $y = -1145,45 + 6,59x$ . No caso da modalidade CC, foram  $y = -435,02 + 2,68x$  e  $y = -1251,58 + 7,07x$ .

Estas retas permitem avaliar o peso em verde e em seco das amostras das duas modalidades ao longo do tempo (dias). Optou-se por estudar dois períodos (da primeira para a segunda amostragem e da segunda para a terceira) para que os dados fossem mais expressivos, neste caso para verificar em que período as plantas desenvolveram-se mais. Assim considerou-se o peso como variável dependente, tendo em conta que é o que se pretende avaliar, e os dias como variável independente.

A Figura 37, mostra a evolução do peso em verde das plantas ao longo do tempo (dias), permitindo uma análise comparativa entre os diferentes períodos de amostragem e modalidades. Na modalidade TE (testemunha), no período compreendido entre a primeira e a segunda amostragem a variação do peso em verde, definido pela reta  $y = -6014,27 + 37,05x$ , apresentou um declive de 37,05, indicando assim um crescimento mais acentuado do peso em verde. Já no segundo período, definido pela reta  $y = -897,89 + 9,54x$ , o declive foi inferior, de 9,54, indicando assim uma evolução mais lenta. Estes valores mostram que o desenvolvimento das plantas foi mais expressivo na fase inicial do estudo. Por outro lado, na modalidade CC (cultura de cobertura), o declive

da reta, relativo ao período compreendido entre a primeira e a segunda amostragem definido pela reta  $y = -4606,13 + 28,31x$ , foi de 28,31, enquanto o segundo período, definido pela reta  $y = -3711,73 + 23,51x$ , apresentou um declive de 23,51. Apesar de se observar, também, uma maior evolução do peso no primeiro período estudado, a diferença entre os dois intervalos é menos expressiva quando comparada com a modalidade TE. A menor diferença entre os declives aponta para um desenvolvimento da planta mais estável ao longo do tempo.

No que diz respeito aos gráficos obtidos para os dados do peso seco na modalidade TE, ao longo do tempo (Figura 38), o primeiro período, compreendido entre 12 de junho e 04 de julho de 2024, definido pela reta  $y = -549,36 + 3,39x$ , apresenta um declive de 3,39, enquanto o segundo período (de 04 de julho a 24 de julho de 2024), definido pela reta  $y = -1145,45 + 6,59x$ , mostra um declive superior de 6,59. Estes valores indicam que o peso em seco das plantas evoluiu mais no segundo período do estudo. Na modalidade CC, os resultados mostram um padrão semelhante ao da modalidade TE, no primeiro intervalo, definido pela reta  $y = -435,02 + 2,68x$ , o declive apresenta um valor de 2,68, já no segundo definido pela reta  $y = -1251,58 + 7,07x$ , um valor de 7,07. A diferença entre estes dois declives revela um aumento na evolução do peso seco durante o segundo período, relacionando-se com um possível maior desenvolvimento das plantas entre julho e agosto.

No caso da interpretação dos valores obtidos para a massa seca da parte aérea percebe-se que não existem diferenças entre as duas modalidades o que confirma o estudo desenvolvido por Basche et al. (2016) no qual o uso de culturas de cobertura como antecedente pode não influenciar diretamente os valores de biomassa da cultura principal. Para a massa verde da parte aérea os valores, neste estudo, foram superiores na CC, o que pode indicar uma resposta mais eficiente ao uso da água no solo por parte das plantas.

Apesar das diferenças observadas nos valores da massa aérea total entre as modalidades, os dados sugerem que a implementação de culturas de cobertura contribui para uma maior estabilidade hídrica no solo. Em situações de limitação hídrica, este tipo de cultura, utilizada como antecedente cultural, pode constituir uma estratégia relevante para aumentar a resiliência das culturas com valor económico (Basche et al., 2016; Meyer et al., 2020; Koudahe et al., 2022).

Os resultados obtidos revelaram ligeiras diferenças no desenvolvimento das plantas na modalidade TE em comparação com as da modalidade CC, em dois parâmetros (massa verde da parte aérea e percentagem de humidade no solo). Embora na modalidade CC, em função da revisão de literatura efetuada, pudéssemos estar orientados para uma melhoria estrutural do solo, redução dos efeitos erosivos, uma melhoria da infiltrabilidade de água no solo (Meyer et al., 2020; Koudahe et al., 2022), verificou-se que na modalidade TE os valores para os dois parâmetros acima referidos foram superiores o que pode ter sido influenciado pelos valores mais elevados do teor de potássio no solo da parcela em questão. Através da análise do solo (Quadro 2) podemos verificar que a parcela testemunha (TE) portava uma maior quantidade de potássio, nutriente fundamental para o bom e favorável desenvolvimento radicular, foliar e regulação hídrica por parte das plantas (Velooso et al., 2022), o que se verificou nos resultados obtidos através das amostras recolhidas em cada parcela. O desvio padrão obtido para os dados da massa seca da parte aérea indica que as plantas da modalidade cultura de cobertura apresentaram menor variabilidade entre si, conciliando com um desenvolvimento mais constante ao longo tempo.

## 6. Conclusões e perspectivas futuras

Os resultados deste estudo indicam que a introdução de culturas de cobertura no itinerário técnico da cultura principal (neste caso o milho) aparentemente não resultou em diferenças relevantes na biomassa aérea seca da cultura principal. Esta conclusão está alinhada com literatura científica que aponta para o facto de os efeitos das culturas de cobertura nem sempre se traduzirem em ganhos imediatos no desenvolvimento da cultura seguinte, sobretudo a curto prazo.

Apesar disso, observou-se uma maior quantidade de biomassa verde da parte aérea na parcela com cultura de cobertura (a partir do meio do ciclo vegetativo), o que poderá indiciar uma utilização mais eficiente da água, eventualmente associada a melhorias estruturais no solo promovidas pela cultura de cobertura. Contudo, a parcela testemunha apresentou valores superiores quer na quantidade de biomassa verde da parte aérea (início do ciclo vegetativo), quer na percentagem de água no solo. A análise química do solo revelou um teor de potássio mais elevado nesta parcela, o que pode ter favorecido o desenvolvimento na fase inicial das plantas, contrariando, neste caso, os efeitos esperados para a cultura de cobertura.

Estes resultados evidenciam a importância de se conhecer o historial do solo, quer ao nível das suas características físicas e químicas quer ao nível das práticas agrícolas anteriormente implementadas. A resposta do solo e do sistema agrícola a práticas como a utilização de culturas de cobertura depende, em princípio, do contexto edafo-climático e da dinâmica de nutrientes já presentes no sistema.

A partir deste estudo, e apesar dos resultados não o demonstrarem com robustez, considera-se que a adoção de culturas de cobertura constitui uma prática com potencial para contribuir para sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis. Importa aprofundar o conhecimento sobre os efeitos cumulativos ao longo do tempo e considerar um acompanhamento mais prolongado, suportado em metodologias mais testadas, que permita avaliar os benefícios estruturais e funcionais a médio e longo prazo.

Um dos aspetos que importa ser aprofundado em estudos futuros é a possibilidade de reduzir as necessidades de rega na cultura principal, resultado de uma eventual melhoria na estrutura do solo proporcionada pelas culturas de cobertura e, conseqüentemente, de um aumento da sua capacidade de retenção de água. No entanto, este efeito não pôde ser avaliado no presente estudo, uma vez que se registou um desfazamento entre o calendário de rega proposto pela Hidrosoph e os dados recolhidos pelos pluviómetros, não tendo

havido um ajustamento da rega com base nas reais necessidades das parcelas. Ainda assim, caso se confirme esta hipótese, poderá verificar-se uma redução significativa nos custos de produção, nomeadamente nos consumos de energia e de água associados à rega.

## 7. Referências bibliográficas

- Agrotec. (2018, julho 24). *Área de milho aumenta em Portugal*. <https://www.agrotec.pt/noticias/area-de-milho-aumenta-em-portugal/> (Acedido em jul. 16, 2025)
- ANPROMIS – Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo (2024). Milho. <https://www.anpromis.pt/> (Acedido em jul. 25, 2025)
- Barros, J. F. C. (2020). *Fertilidade do solo e Nutrição das plantas. Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias Agropecuários e Noções Básicas de Agricultura*. Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia. Repositório da Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/28120>
- Barros, J. C. & Calado, J. G. (2014). *A Cultura do Milho. Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias, Agropecuários, Tecnologia do Solo e das Culturas, Noções Básicas de Agricultura e Fundamentos de Agricultura Geral*. Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia. Repositório da Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/10804>
- Basche, A. D., Kaspar, T. C., Archontoulis, S. V., Jaynes, D. B., Sauer, T. J., Parkin, T. B., & Miguez, F. E. (2016). Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop. *Agricultural Water Management*, 172, 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.006>
- Basile-Doelsch, I., Balesdent, J., & Pellerin, S. (2020). Reviews and syntheses: Mechanisms underlying carbon storage in soil. *Biogeosciences*, 17(20), 5223–5242. <https://doi.org/10.5194/bg-17-5223-2020>
- Calha, I. M. & Amaral, A. (2024). *O efeito das culturas de cobertura no controlo de infestantes*. *Vida Rural*, 1895, 76–82. <https://hdl.handle.net/10400.15/4800>

- Campos, B. C., Reinert, D. J., Albuquerque, J. A. & Nicolodi, R. (1994). *Avaliação temporal da humidade do solo como consequência do tipo de percentagem de cobertura vegetal*. <https://www.scienceopen.com/document?vid=b221c995-4361-4353-b8a4-15a9e8bf661c> (Acedido em mai. 16, 2025)
- Centeno, L. N., Guevara, M. D. F., Cecconello, S. T., Sousa, R. O. D., & Timm, L. C. (2017). *Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos*. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, 4(1), 31–37.
- Del Pozo, A., Brunel-Saldias, N., Engler, A., Ortega-Farias, S., Acevedo-Opazo, C., Lobos, G. A., Jara-Rojas, R., & Molina-Montenegro, M. A. (2019). Climate change impacts and adaptation strategies of agriculture in Mediterranean-climate regions (MCRs). *Sustainability*, 11(10), 2769. <https://doi.org/10.3390/su11102769>
- Direção-Geral de Alimentação e Veterinária. (2025). *Relatório de Acompanhamento de 2024: Coexistência entre Culturas Geneticamente Modificadas e outros Modos de Produção Agrícola* (Relatório). <https://www.dgav.pt/wp-content/uploads/2025/05/relatorio-milho-GM-2024-1.pdf> (Acedido em out. 01, 2025)
- Kaspar, T. C., & Singer, J. W. (2011). *The Use of Cover Crops to Manage Soil*. Em J. L. Hatfield & T. J. Sauer (Eds.), *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture* (pp. 321-337). American Society of Agronomy & Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/2011.soilmanagement.c21>
- Koudahe, K., Allen, S. C., & Djaman, K. (2022). *Critical review of the impact of cover crops on soil properties*. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(3), 343–354. [https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003:contentReference[oaicite:0]{index=0})
- FERTIPRADO (2024). Disponível em: <https://fertiprado.pt/> (Acedido em dez. 29, 2024).

- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P. (2023). *Normais Climatológicas – Santarém / Fonte Boa (1981-2010)*. Disponível em [https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn\\_81-10\\_SANTAREM\\_FONTE\\_BOA.pdf](https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_81-10_SANTAREM_FONTE_BOA.pdf) (Acedido em jul. 25, 2025)
- INE – Instituto Nacional de Estatística. Disponível em: [www.ine.pt](http://www.ine.pt) (Acedido em jun. 15, 2025)
- Meyer, N., Bergez, J.-E., Constantin, J., Belleville, P., & Justes, E. (2020). *Cover crops reduce drainage but not always soil water content due to interactions between rainfall distribution and management*. [Dissertação de mestrado, Universidade de Toulouse, INRA, França]. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105998>
- Mendes, A., Saraiva, A., Valério, E., Madeira, F., Gago, J., Oliveira, J., Pacheco Ferreira, M., Godinho, M. C., Oliveira, M., & Coelho, R. (2025). *Guia de boas práticas agrícolas na Lezíria do Tejo*. WWF Portugal. <https://www.wwf.pt>
- Mendis, S. S., Udawatta, R. P., Anderson, S. H., Nelson, K. A., & Cordsiemon, R. L. (2022). Effects of cover crops on soil moisture dynamics of a corn cropping system. *Soil Security*, 8, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100072>
- Mira, L. (2019). Adaptação do sector agrícola às alterações climáticas. *Revista da Rede Rural Nacional*, 8, 12. <https://www.rederural.gov.pt> (Acedido em jul. 07, 2025)
- Moreira, N. (2002). *Agronomia das forragens e pastagens* (Extra-série). Vila Real, Portugal: UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M. M., Sánchez, G. J., Buckler, E., & Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(9), 6080–6084. <https://doi.org/10.1073/pnas.052125199>

- Oliveira, A. de S. (2024). Impactos das mudanças climáticas na qualidade do solo e na produção agrícola. *Revista Observatório de la Economía Latino Americana*, v.22, n.6, p. 01-21.
- Paes, V. (2011). *Análise da variabilidade espaço-temporal da produtividade de milho numa parcela na região da Golegã* [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Agronomia]. Repositório aberto da Universidade de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10400.5/5351> (Acedido em mai. 03, 2025)
- Paz, A. M., Castanheira, N., Carranca, C., & Gonçalves, M. C. (2022). *Solo agrícola e as alterações climáticas*. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. [https://www.inia.pt/images/publicacoes/2022/Solo\\_agricola\\_e\\_as\\_alteracoes\\_climaticas.pdf](https://www.inia.pt/images/publicacoes/2022/Solo_agricola_e_as_alteracoes_climaticas.pdf) (Acedido em jul. 02, 2025)
- Ramos, T. B., Gonçalves, M. da C., Martins, J. C., & Pereira, L. S. (2016). *Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas*. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P. ISBN 978-972-579-043-4.
- Rheinheimer, D. S., Moterle, D. F., Brunetto, G., Kaminski, J., & Gatiboni, L. C. (2010). Potassium availability in a Hapludalf soil under long term fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(3), 783–791 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300020>
- Rodrigues, G. C., Paredes, P., Rosa, R. D., Silva, F. G., & Pereira, L. S. (2011). *Necessidades de água e produtividade económica da rega de milho em condições de escassez*. Comunicações em Conferências, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Repositório da Universidade de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10400.5/3726>
- Shahidian, S., Guimarães, R. C., & Rodrigues, C. M. (Eds.). (2017). *Hidrologia agrícola* (2.<sup>a</sup> ed. rev. e ampl.). Universidade de Évora, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas.

- Silva, M. C., Machado, H., Videira, I., & Castro, I. V. (2021). *Biofertilização e biocontrolo em montado – Medidas de adaptação às alterações climáticas*. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. Revista Alterações Climáticas, dezembro 2021/janeiro 2022, 62–67. [https://www.inia.vpt/images/publicacoes/2022/Biofertilizacao\\_e\\_biocontrolo\\_e\\_m\\_montado.pdf](https://www.inia.vpt/images/publicacoes/2022/Biofertilizacao_e_biocontrolo_e_m_montado.pdf) (Acedido em jul. 19, 2025)
- SoilLife1st (2024). Disponível em: <https://soilife1st.webnode.pt/> (Acedido em jun. 05, 2025)
- Veloso, A., Sempiterno, C., Calouro, F., Rebelo, F., Pedra, F., Castro, I. V., Gonçalves, M. C., Marcelo, M. E., Pereira, P., Fareleira, P., Jordão, P., Mano, R. & Fernandes, R. (2022). *Manual de fertilização das culturas*. INIAV
- Wang, E., Cruse, R. M., Zhao, Y., & Chen, X. (2014). Quantifying soil physical condition based on soil solid, liquid and gaseous phases. *Soil and Tillage Research*, 146, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.002>
- Wang, N. N., & Zhang, T. B. (2024). Soil pore structure and its research methods: A review. *Soil and Water Research*, 19(1), 00–00. <https://doi.org/10.17221/64/2023-SWR>
- Wang, Z., Smith, P., Bastida, F., Bol, R., Brussaard, L., Geisen, S., Lehmann, J., Wall, D. H., & Zhang, W. (2023). *Soil and climate nexus and sustainability*. *European Journal of Soil Science*, 74(2), e13387. <https://doi.org/10.1111/ejss.13387>