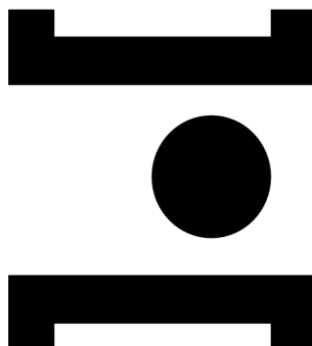


INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM

Escola Superior Agrária de Santarém



**POLITÉCNICO
DE SANTARÉM**

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DE UM
POLÍMERO HIDRO RETENTOR NA REDUÇÃO DE ÁGUA
DE IRRIGAÇÃO, NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE EM
TOMATE DE INDÚSTRIA**

**Dissertação com vista à obtenção do grau de Mestre em:
Engenharia Agronómica**

Vanessa Isabel Romão de Carvalho

Orientação:

Orientadora: Professora Doutora Mafalda Pacheco Ferreira

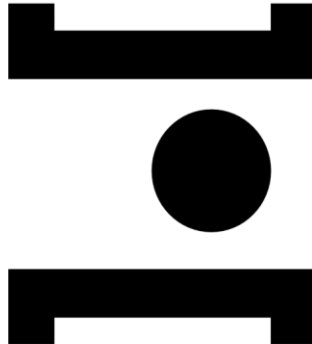
Orientadora: Professora Doutora Ana Ambrósio Paulo

Co-Orientador Externo: Mestre Hirotaka Ito

Junho, 2025

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM

Escola Superior Agrária de Santarém



**POLITÉCNICO
DE SANTARÉM**

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DE UM
POLÍMERO HIDRO RETENTOR NA REDUÇÃO DE ÁGUA
DE IRRIGAÇÃO, NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE EM
TOMATE DE INDÚSTRIA**

**Dissertação com vista à obtenção do grau de Mestre em:
Engenharia Agronómica**

Vanessa Isabel Romão de Carvalho

Orientação:

Orientadora: Professora Doutora Mafalda Pacheco Ferreira

Orientadora: Professora Doutora Ana Ambrósio Paulo

Co-Orientador Externo: Mestre Hirotaka Ito

Junho, 2025

DEDICATÓRIA

Para ti mãe!

Esta conquista é nossa.

Obrigada por estares presente em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Escola Superior Agrária de Santarém, pelos ensinamentos e conhecimentos que me enriqueceram como profissional.

Às minhas orientadoras, Professora Mafalda Ferreira e Professora Ana Paulo Ambrósio por todo o apoio, disponibilidade, compreensão, paciência, por acreditarem em mim e acima de tudo, por terem uma palavra de incentivo.

Ao Hirotaka Ito e ao Kengo Nakata por me terem dado a oportunidade de participar deste projeto em conjunto com a Kagome Agri-Center.

Aos agricultores José Moço e Rúben Moço pelo suporte total durante todas as etapas do ensaio, pela permissão da realização de alguns testes e pela partilha de conhecimentos.

À empresa DXAS, pelas sondas essenciais à realização do ensaio, pela disponibilidade constante ao longo do tempo em esclarecer dados e problemas e pelo fornecimento de dados semanais.

Ao Grupo HIT, mais concretamente aos meus colegas da Secção Agrícola, pelo apoio, compreensão e ajuda no esclarecimento de dúvidas.

Aos colegas da Kagome Agri-Center pela ajuda que prestaram em diversas fases do ensaio.

À minha família, principalmente aos meus pais, que tanto esforço fizeram para me ajudarem a concretizar mais uma etapa no meu percurso académico e nos momentos mais difíceis nunca me deixaram baixar os braços e acreditaram sempre que eu conseguia.

Aos meus familiares, colegas de trabalho e amigos, por me terem feito acreditar que seria possível realizar este sonho, por me terem incentivado a crescer, a procurar conhecimento, a ultrapassar barreiras e tanta força e esperança me deram todos os dias.

Muito obrigada.

ABREVIATURAS

<i>BER</i>	<i>Blossom end-rot</i>
DAP	Dias Após a Plantação
EUA	Eficiência do Uso da Água de irrigação
ET	Evapotranspiração
ET _c	Evapotranspiração cultural
<i>EFS</i>	<i>“Extended Field Storage”</i>
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IFAP	Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas
K	Potássio
N	Azoto
P	Fósforo
WPTC	World Processing Tomato Council
WWC	World Water Council

RESUMO

A escassez de água, particularmente em regiões áridas e semiáridas, como a zona Mediterrânea, representa um grande desafio para a agricultura, sobretudo num contexto de alterações climáticas. É crucial desenvolver-se e adotar-se novas estratégias agrícolas que promovam o uso eficiente da água e que permitam uma maximização das produtividades. O presente estudo focou-se na avaliação dos efeitos da aplicação de um polímero hidroretentor na redução da água de irrigação, na produtividade e qualidade em tomate de indústria. O ensaio decorreu numa parcela de quatro hectares (Vale Queimado), situada em Salvaterra de Magos, que foi dividida em dois grupos de dois hectares: um grupo onde foi aplicado 22,5 kg/ha de polímero X no solo e um grupo de controlo (testemunha). Verificou-se diferenças significativas no desenvolvimento das plantas, especificamente largura e altura, entre ambos os tratamentos aos 40, 60, 80 e 100 dias após plantação ($p\text{-value} < 0,05$). Os resultados das amostras foliares, mostraram diferenças significativas aos 40 e 60 DAP no azoto e no potássio, com o grupo do polímero X a apresentar consistentemente concentrações superiores ao longo do ciclo cultural. Relativamente ao cálcio, as diferenças foram significativas aos 100 DAP com a testemunha a apresentar concentrações superiores. Ao nível da taxa de exsudação das raízes das plantas, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p\text{-value} > 0,05$). Os resultados de produtividade não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, contudo o grupo do polímero X registou produtividades superiores nas três metodologias avaliadas: +13,8 t/ha no *shaking test*, +2,3 t/ha na colheita diferenciada de galerias e +14,4 t/ha no mapeamento da máquina colhedora. Importa destacar que estes ganhos foram alcançados com uma redução expressiva no volume de água aplicada (-1902,3 m³/ha, equivalente a 20,5%), monitorizada em tempo real através de sondas de humidade do solo e caudalímetros. Esta redução, validada por instrumentação precisa, assume uma importância crucial no contexto da agricultura sustentável, traduzindo-se numa melhoria clara da eficiência hídrica, um avanço relevante face à escassez de água e às alterações climáticas. Também, se observou uma menor frequência de irrigação no grupo do polímero e uma maior eficácia de atuação ao nível da humidade de solo nas camadas mais profundas do perfil do solo. Os resultados da avaliação dos parâmetros de qualidade dos frutos apresentaram valores dentro do expectável para a variedade UG16112 e foram semelhantes em ambos os grupos, pelo que não se registaram diferenças significativas entre o °Brix, cor (a/b), licopenos, pH e firmeza. Este trabalho realça as vantagens da aplicação do polímero ao solo, que através do seu mecanismo de intumescimento possibilita a retenção de água no solo e a sua

libertação controlada para as plantas, mostrando-se uma ferramenta promissora e sustentável para melhorar a gestão hídrica e o rendimento das culturas.

Palavras-chave: polímero, produtividade, uso eficiente da água, qualidade, tomate de indústria.

ABSTRACT

Water scarcity, particularly in arid and semi-arid regions such as the Mediterranean zone, represents a major challenge for agriculture, especially in the context of climate changes. It is crucial to develop and adopt new agricultural strategies that promote efficient water use and allow for the maximization of crop yields. This study focused on evaluating the effects of the application of a hydro-retentive polymer on irrigation water reduction, productivity, and quality in processing tomato. The trial was conducted on a four-hectare field (Vale Queimado), located in Salvaterra de Magos, which was divided into two groups of two hectares each: one group where 22.5 kg/ha of polymer X was applied to the soil, and a control group (untreated). There were significant differences in plant development, specifically in width and height, between the two treatments at 40, 60, 80, and 100 days after planting (p -value < 0.05). Leaf sample results showed significant differences at 40 and 60 DAP for nitrogen and potassium, with the polymer X group consistently presenting higher concentrations throughout the crop cycle. Regarding calcium, significant differences were found at 100 DAP, with the control group showing higher concentrations. At the root exudation rate level, no significant differences were observed between treatments (p -value > 0.05). The productivity results did not show statistically significant differences; however, the polymer X group achieved higher yields in all three evaluated methodologies: +13.8 t/ha in the shaking test, +2.3 t/ha in the selective harvest of clusters, and +14.4 t/ha in the harvester's yield mapping. It is important to highlight that these gains were accomplished with a significant reduction in applied water volume (-1,902.3 m³/ha, equivalent to 20,5%), monitored in real time using soil moisture probes and flow meters. This reduction, validated by precise instrumentation, is of critical importance in the context of sustainable agriculture, representing a clear improvement in water-use efficiency, a significant advancement in the face of water scarcity and climate change. A lower irrigation frequency was also observed in the polymer group, along with greater effectiveness in maintaining soil moisture in deeper layers of the soil profile. Fruit quality parameters were within the expected range for the UG16112 variety and were similar in both groups, with no significant differences observed in °Brix, color (a/b), lycopene content, pH, and firmness. This study highlights the advantages of applying the polymer to the soil, which, through its swelling mechanism, enables water retention in the soil and its controlled release to the plants, proving to be a promising and sustainable tool for improving water management and crop performance.

Keywords: polymer, productivity, efficient use of water, quality, processing tomato.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Revisão Bibliográfica	3
3.1. Utilização dos recursos hídricos pela Agricultura	3
3.2. Importância económica da cultura do tomate	6
3.3. Caraterização da cultura do tomate de indústria.....	9
3.3.1. Descrição da cultura	9
3.3.2. Fases de desenvolvimento	10
3.3.3. Exigências edafo-climáticas.....	12
3.3.4. Necessidades hídricas da cultura	13
3.4. Polímeros superabsorventes na Agricultura	16
3.4.1. Mecanismo de ação dos polímeros superabsorventes.....	16
3.4.2. Caraterísticas funcionais dos polímeros superabsorventes	17
3.4.3. Classificação dos polímeros superabsorventes	18
3.4.4. Aplicação de polímeros superabsorventes no solo	19
3.4.5. Influência dos polímeros superabsorventes no uso eficiente da água.....	19
4. Material e Métodos	23
4.1. Localização do Ensaio.....	23
4.2. Caraterização edafo-climática da parcela.....	24
4.3. Caraterização do polímero X.....	27
4.4. Caraterização da variedade de tomate de indústria.....	29
4.5. Delineamento Experimental.....	29
4.6. Metodologias	31
4.6.1. Aplicação do polímero X.....	31
4.6.2. Recolha de amostras foliares e análise de nutrientes	32
4.6.3. Avaliação do desenvolvimento das plantas.....	33
4.6.4. Avaliação da taxa de exsudação das raízes das plantas	34
4.6.5. Avaliação da produtividade.....	36
4.6.6. Avaliação da eficiência do uso da água de irrigação.....	38
4.6.7. Avaliação da qualidade dos frutos	38
4.7. Tecnologias de monitorização	40
4.8. Análise estatística	41

5.	Resultados e discussão	42
5.1.	Desenvolvimento e crescimento das plantas	42
5.2.	Amostras foliares.....	45
5.3.	Taxa de exsudação das raízes das plantas	48
5.4.	Produtividade	49
5.4.1.	<i>Shaking Test</i>	49
5.4.2.	Processo de colheita diferenciado de galeras.....	52
5.4.3.	Mapeamento da máquina colhedora.....	56
5.5.	Eficiência do uso da água	62
5.5.1.	Volume total de água aplicado à cultura	63
5.5.2.	Humidade do solo.....	67
5.5.3.	Frequência de irrigação	71
5.6.	Qualidade	73
5.6.1.	Análise da qualidade dos frutos na classificação	73
5.6.2.	Análise da qualidade dos frutos no laboratório	75
5.6.3.	Análise da firmeza dos frutos.....	79
6.	Considerações Finais	82
7.	Referências Bibliográficas	84
8.	Anexos	90
	Anexo I – World production estimate of tomatoes for processing	90
	Anexo II – Análise de solo da parcela Vale Queimado.....	91
	Anexo III – Análise de água da parcela Vale Queimado	94
	Anexo IV – Análise de variância e Teste <i>t Student</i> para a largura das plantas (40, 60, 80 e 100 DAP)	97
	Anexo V – Análise de variância e Teste <i>t Student</i> para a altura das plantas (40, 60, 80 e 100 DAP)	99
	Anexo VI – Análise de variância e Teste <i>t Student</i> para o azoto foliar (40, 60, 80 e 100 DAP)	102
	Anexo VII – Análise de variância e Teste <i>t Student</i> para o potássio foliar (40, 60, 80 e 100 DAP)	105
	Anexo VIII – Análise de variância e Teste <i>t Student</i> para o cálcio foliar (40, 60, 80 e 100 DAP)	108

Anexo IX – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos de categoria A (vermelhos) – <i>Shaking test</i>	110
Anexo X – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos de categoria B (laranjas) – <i>Shaking test</i>	111
Anexo XI – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos de categoria C (verdes) – <i>Shaking test</i>	112
Anexo XII – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos com podridão apical – <i>Shaking test</i>	112
Anexo XIII – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos esmagados – <i>Shaking test</i>	113
Anexo XIV – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos comercializáveis (Tomate A e B) – <i>Shaking test</i>	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Top 10 Commodities, Export value in Portugal (FAOSTAT, 2023).....	6
Figura 2 - Top 12 países exportadores de pasta de tomate (Tomato News, 2022).	7
Figura 3 - Quantidade de pasta de tomate exportada pelo top 12 de países exportadores em função das 16 principais regiões importadoras (Tomato News, 2022).....	7
Figura 4 - Evolução da área de tomate de indústria, período 2001-2023, em Portugal (IFAP, 2023).	8
Figura 5 - Produtividade (t/ha), no período de 2001 e 2023, em Portugal (IFAP, 2023)	8
Figura 6 - Fases do ciclo vegetativo da cultura do tomate de indústria com base cobertura do solo (% SS) e no desenvolvimento radicular (exemplo, para uma variedade com ciclo médio de 120 dias) (Torres et al., 2015).	11
Figura 7 - Mecanismo de ação do polímero - processo de intumescimento (Saha et al., 2020).	17
Figura 8 - Localização da parcela Vale Queimado (Google Earth).	23
Figura 9 - Mapa de solos, à escala 1:25 000, com a localização da parcela (Fonte: SNISolos – Sistema Nacional de Informação do Solo (https://www.snisolos.dgadr.gov.pt)).	24
Figura 10 - Temperatura do ar, Santarém (Fonte Boa), Normal Climatológica (1991-2020). (Fonte: https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1991-2020/#535).....	25
Figura 11 - Precipitação, Santarém (Fonte Boa), Normal Climatológica (1991-2020). (Fonte: https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1991-2020/#535).....	25
Figura 12 - Localização da estação meteorológica (Google Earth).	26
Figura 13 - Estação meteorológica do Torrão.....	27
Figura 14 - Polímero X (forma granular).....	28
Figura 15 - Variedade UG16112 (United Genetics Italia, 2023).	29
Figura 16 - Esquema do delineamento experimental do ensaio.	30
Figura 17 – Microgranulador-doseador acoplado à plantadora de copos de três linhas.	31
Figura 18 - Aplicação do polímero X durante a plantação.	32
Figura 19 - Ramo com cacho floral em média maturação e folha terminal.	33
Figura 20 – Preparação dos pecíolos das folhas terminais para análise de nutrientes e análise exemplificativa.	33
Figura 21 - Root Mass Test.	35
Figura 22 - Pesagem dos algodões na balança de alta precisão.	35
Figura 23 - Processo de classificação do tomate (exemplo).....	37

Figura 24 - Avaliação da firmeza dos frutos através do medidos de compressão (Force Measurement IMADA).	39
Figura 25 - Análise de °Brix, cor, pH e licopenos na classificação com recurso à unidade Maselli TR01.....	40
Figura 26 - Evolução da largura (cm) das plantas de ambos os tratamentos aos 40, 60, 80 e 100 DAP.....	42
Figura 27 – Evolução da altura (cm) das plantas de ambos os tratamentos aos 40, 60, 80 e 100 DAP.....	43
Figura 28 - Evolução do NDVI durante o ciclo da cultura.	44
Figura 29 - Evolução da concentração de azoto (ppm) durante o ciclo vegetativo.	46
Figura 30 - Evolução da concentração de potássio (ppm) ao longo do ciclo vegetativo.	46
Figura 31 - Evolução da concentração de cálcio (ppm) ao longo do ciclo vegetativo.	47
Figura 32 - Classificação dos frutos por modalidade (shaking test).....	49
Figura 33 - Classificação dos frutos por modalidade (expresso em percentagem).....	50
Figura 34 - Classificação da matéria-prima do grupo do polímero X.	54
Figura 35 - Classificações da matéria-prima do grupo da testemunha.	55
Figura 36 - Produtividade (kg/ha) do mapeamento da máquina colhedora.....	57
Figura 37 - Temperaturas registadas entre os 40 e 60 DAP.	60
Figura 38 – Evolução cumulativa do volume de água em cada tratamento (m ³ /ha).....	63
Figura 39 - Relação das necessidades hídricas da cultura com o volume aplicado em cada grupo (polímero X e testemunha).....	65
Figura 40 - Humidade do solo (mm) de ambos os grupos.	67
Figura 41 - Humidade do solo (mm) a 10 cm de profundidade.	68
Figura 42 - Humidade do solo (mm) a 20 cm de profundidade.	68
Figura 43 - Humidade do solo (mm) a 30 cm de profundidade.	69
Figura 44 - Humidade do solo (mm) a 40 cm de profundidade.	70
Figura 45 - Humidade do solo (mm) a 50 cm de profundidade.	70
Figura 46 – Frequência diária de rega do grupo do polímero X (Sensor 2411 – CropScope App).	72
Figura 47 - Frequência diária de rega do grupo da testemunha (Sensor 2416 - CropScope App).	72
Figura 48 - Relação entre cor e licopenos (qualidade do tomate analisada na classificação).	77
Figura 49 - Relação entre cor e licopenos (análises do laboratório).	78
Figura 50 - Temperatura do ar durante a fase de maturação dos frutos.	79
Figura 51 - Frutos do grupo do polímero e do grupo da testemunha.	80

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Constituição do polímero X.....	28
Quadro 2 - Quantificação da biomassa verde (Kg/3plantas) no shaking test.....	44
Quadro 3 - Média de pesos (g) dos algodões de ambos os grupos resultantes do Root Mass Test.	48
Quadro 4 - Peso médio dos frutos (tomate de categoria A) (expresso em g/fruto).	51
Quadro 5 - Comparação do rendimento comercializável entre tratamentos, obtido no shaking test (expresso em t/ha).	52
Quadro 6 - Comparação das distâncias médias percorridas (m) entre tratamentos.	52
Quadro 7 – Comparação da taxa de depreciação média (%) entre tratamentos.	53
Quadro 8 - Comparação de produtividade média (t/ha) entre tratamentos.	56
Quadro 9 - Estatística descritiva dos dados obtidos através do mapeamento da máquina colhedora, para ambos os grupos, expressa em t/ha.....	58
Quadro 10 - Resultados de produtividade (t/ha) obtidos através das diferentes metodologias, em ambos os grupos.	59
Quadro 11 - Resultados da EUA para ambos os tratamentos.	62
Quadro 12 - Resultados do ° Brix dos frutos analisados na classificação.....	73
Quadro 13 - Resultados do pH dos frutos analisados na classificação.	74
Quadro 14 - Resultados da cor (a/b) dos frutos analisados na classificação.	74
Quadro 15 - Resultados dos licopenos dos frutos analisados na classificação.	74
Quadro 16 - Resultados do °Brix dos frutos analisados no laboratório.	75
Quadro 17 - Resultados do pH dos frutos analisados no laboratório.	75
Quadro 18 - Resultados da cor (a/b) dos frutos analisados no laboratório.	75
Quadro 19 - Resultados dos licopenos dos frutos analisados no laboratório.....	76
Quadro 20 - Resultados da análise da firmeza dos frutos (kgf).....	79

1. Introdução

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) e o World Water Council (WWC) (2015) perspectiva-se que até 2050 a população mundial possa atingir 9 a 10 mil milhões de pessoas. O aumento da população mundial aliado à elevada procura por alimentos constitui uma pressão significativa para a agricultura, colocando-a diante a imperiosa responsabilidade de suprimir as necessidades alimentares mundiais.

O cenário supramencionado é agravado pelas alterações climáticas, devido à ocorrência cada vez mais frequente de fenómenos meteorológicos extremos. Particularmente em Portugal, onde vigora um clima mediterrânico, tem-se verificado nos últimos trinta anos um aumento da temperatura média, uma diminuição da precipitação e secas mais frequentes, mais prolongadas e mais abrangentes (Fundação Calouste Gulbenkian, 2020).

A pressão exercida sobre a agricultura no sentido de maximizar a produção de alimentos para fazer face ao aumento populacional, desencadeará uma maior procura pelos recursos hídricos disponíveis no mundo, no entanto, a água é cada vez um recurso mais escasso, pelo que se torna fundamental efetuar uma gestão criteriosa e consciente tendo em conta que a sua disponibilidade é decrescente (Iglesias & Garrote, 2015).

A crescente procura de água por parte do setor urbano e industrial conduzirá a uma maior competição por este recurso, principalmente em regiões onde existe escassez de água e por consequência restringirá o volume de água disponível para a agricultura (FAO & WWC, 2015). Cerasola et al. (2022) referem que a escassez de água surge como um enorme desafio para a agricultura, especialmente em regiões áridas e semiáridas, como a zona Mediterrânea, onde a irrigação é vital para garantir a segurança alimentar e o desenvolvimento económico.

É crucial e prioritário desenvolver novas estratégias de irrigação com o objetivo de otimizar a eficiência do uso da água (Cerasola et al., 2022) e melhorar a produtividade para satisfazer a crescente procura por alimentos (Patanè & Cosentino, 2010; Zheng et al., 2023).

A aplicação de polímeros superabsorventes tem-se revelado como uma das tecnologias com potencial para melhorar o rendimento das culturas e a eficiência do uso da água, sendo considerada um método prático e eficaz devido às suas propriedades de absorção e retenção de água (Zheng et al., 2023).

2. Objetivos

O presente estudo centra-se na avaliação dos efeitos da aplicação de um polímero hidroretentor em tomate de indústria, numa perspetiva inovadora que contempla principalmente a sustentabilidade dos recursos hídricos e a eficiência agronómica.

Os objetivos deste estudo prendem-se com:

- I. Reduzir o volume de água aplicado na rega, garantindo o conforto hídrico da cultura, através da utilização de um polímero que aumenta a capacidade de absorção e retenção de água no solo;
- II. Monitorizar o desenvolvimento, avaliar a produtividade da cultura com e sem aplicação do polímero e avaliar o efeito da aplicação do polímero sobre a qualidade dos frutos;
- III. Consciencializar o agricultor para a adoção de novas estratégias de gestão da água, mostrando os benefícios resultantes da utilização de um polímero hidroretentor e destacando os impactos positivos de novas técnicas que promovam a poupança de água sem comprometer a produtividade e a qualidade.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Utilização dos recursos hídricos pela Agricultura

“A água é considerada o recurso mais crítico para o desenvolvimento agrícola sustentável em todo o mundo.”

Chartzoulakisa & Bertaki (2015)

Indiscutivelmente, a agricultura desempenha um papel preponderante no consumo global de água, apresentando-se como o maior utilizador deste recurso vital, utilizando atualmente 70% para a irrigação das culturas. Aliado a este facto, frequentemente a agricultura é associada a uma imagem de ineficiência, dado que a eficiência de irrigação é muito baixa, uma vez que apenas 55% da água aplicada é utilizada pela cultura (Chartzoulakisa & Bertaki, 2015). De acordo com o Plano Nacional Para o Uso Eficiente da Água, verifica-se que ainda existe uma parcela importante atribuída ao desperdício, relacionada com a ineficiência do uso da água e com as respetivas perdas. Também é referido que a ineficiência do uso da água assume particular importância e gravidade em períodos de escassez hídrica (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

Cerasola et al. (2022) defendem que é essencial melhorar a eficiência do uso da água no setor agrícola, assim como desenvolver novas estratégias de irrigação que sejam promotoras da economia de água. Patanè et al. (2011) também referem que a adoção de estratégias de irrigação mais eficientes deve permitir alcançar rendimentos satisfatórios e sobretudo contribuir para a preservação deste recurso restrito, assumindo que em zonas onde se verifica escassez de água, como a bacia do Mediterrâneo, a maximização da produtividade da água pode apresentar-se mais rentável para o agricultor do que o rendimento das culturas. Os mesmos autores mencionam que estratégias de rega mais eficientes, passam pela adoção da irrigação por gotejamento, pois contribui para reduzir drasticamente o consumo de água, melhorar a eficiência da utilização da mesma e concomitantemente, reduzir de forma significativa o escoamento e as perdas por evapotranspiração das culturas (Patanè et al., 2011; Patra et al., 2022).

Constata-se que grande parte das áreas de produção hortícola estão localizadas em regiões onde predominam climas quentes e secos devido às condições climáticas favoráveis, mais concretamente, alta disponibilidade de luz e de temperatura (Francaviglia & Di Bene, 2019; Patanè et al., 2011). Contudo, verifica-se que nestas áreas o défice de água no solo é bastante frequente, em consequência da fraca precipitação registada no período entre maio e agosto (Patanè et al., 2011; Patra et al., 2022).

A região da bacia do Mediterrâneo é conhecida pela sua produção significativa de tomate, porém enfrenta grandes desafios relacionados com a escassez de água e a disponibilidade da mesma para fins produtivos tem tendência a diminuir devido às alterações climáticas e ao aumento do consumo doméstico e industrial, como também pela incorreta utilização, com o consequente desperdício (Carucci et al., 2023; Favati et al., 2009; Patanè et al., 2020). Esta região caracteriza-se por verões quentes e secos, pelo que é essencial o uso de água na cultura do tomate, sendo esta um fator limitante para o seu cultivo (Giuliani et al., 2016). Patanè et al. (2011) corroboram esta ideia ao afirmar que em regiões áridas e semiáridas, como a região do Mediterrâneo, a cultura do tomate é especialmente exigente em água durante todo o ciclo cultural. Esta exigência prende-se sobretudo com as elevadas temperaturas e a grande disparidade entre a precipitação e a evapotranspiração durante o seu ciclo de crescimento (Francaviglia & Di Bene, 2019). Para maximizar a produtividade da cultura do tomate é fundamental manter a disponibilidade de água no solo junto à zona radicular próxima da capacidade de campo durante todo o período de crescimento (Patanè et al., 2020).

Além da exigência em água, a cultura do tomate é altamente sensível ao stress hídrico, revelando efeitos nocivos sobre o crescimento, desenvolvimento e produção (Cerasola et al., 2022). Patanè & Cosentino (2010) salientam que as perdas de produção estão intimamente relacionadas com a deficiência hídrica em diferentes estágios do ciclo da cultura, sendo mais gravosas nas fases de floração e frutificação. A insuficiência hídrica durante estas fases leva a um aumento do aborto de flores e por consequência, a uma redução do rendimento devido à diminuição do número de frutos e do seu peso (Ganeva et al., 2019; Patanè et al., 2020). Por outro lado, o stress hídrico aquando da fase de crescimento pode provocar uma melhoria da qualidade dos frutos, principalmente ao nível do teor de sólidos solúveis e da intensidade da cor dos frutos, podendo, eventualmente, estas características compensar *à posteriori* a perda de produção (Francaviglia & Di Bene, 2019; Patanè & Cosentino, 2010).

A produtividade das culturas muitas vezes é limitada pelas propriedades físicas e químicas do solo, assim como pelas elevadas taxas de infiltração, baixa capacidade de retenção de água e de troca catiónica, características de solos arenosos. Estes tipos de solos são permeáveis e caracterizam-se pela drenagem excessiva da chuva, da água de irrigação e pela lixiviação de nutrientes abaixo da zona radicular, logo a sua capacidade de retenção de água e nutrientes é bastante reduzida (Nirmala & Thirupathiah, 2019). A elevada macroporosidade dos solos arenosos favorece perdas excessivas de água e lixiviação de nutrientes, especificamente se forem adotados sistemas de irrigação superficiais (Mahgoub, 2020).

Mahgoub (2020) afirma que a utilização de polímeros superabsorventes ou hidrogéis pode favorecer a disponibilidade de água em solos arenosos, aumentar a capacidade de retenção de água no solo, podendo ser uma técnica apropriada para melhorar a eficiência do uso da água e de fertilizantes. Por este motivo, o emprego de polímeros superabsorventes tem sido bastante utilizado como condicionador de solo (Patra et al., 2022)

Ensaio conduzidos em Itália, na cultura do tomate de indústria mostram que é possível reduzir até 25% de água de irrigação (Cerasola et al., 2022). Estes hidrogéis têm sido utilizados para melhorar a disponibilidade de água para as plantas, nomeadamente na produção de frutos, vegetais e turfa, proporcionando um incremento na capacidade de retenção de água e nutrientes no solo, que posteriormente são libertados consoante as necessidades das plantas (Nirmala & Thirupathaiah, 2019).

A agricultura exerce um papel determinante na gestão sustentável dos recursos hídricos. A implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis que englobem a adoção de estratégias economizadoras de água e técnicas de irrigação mais eficientes, bem como a escolha criteriosa das culturas, apresentam-se como os pilares basilares para mitigar os impactos da escassez de água, num cenário de alterações climáticas.

3.2. Importância económica da cultura do tomate

Segundo a FAO (2023), a cultura do tomate é considerada a mais importante cultura hortícola a nível mundial, tendo sido produzidas em 2022 cerca de 186 milhões de toneladas. A cultura do tomate assume-se como a principal cultura hortícola destinada ao processamento industrial, sendo que em 2023 foram produzidas e processadas mais de 44 milhões de toneladas, verificando-se um acréscimo de 14,9% face ao ano de 2022 ([Anexo I](#)) (World Processing Tomato Council (WPTC), 2023).

De acordo com o WPTC (2023), Portugal é o 7º maior produtor mundial de tomate de indústria e ocupa o 5º lugar ao nível dos países do Mediterrâneo (AMITOM) ([Anexo I](#)), tendo em 2023 produzido 1,5 milhões de toneladas.

A cultura do tomate é uma cultura de especial importância a nível nacional e a principal cultura hortícola destinada à indústria transformadora. Além da sua extrema importância para a economia nacional (**Fig. 1**), é fundamental realçar as suas capacidades de autossuficiência e de exportação de uma quantidade significativa da sua produção (FAOSTAT, 2023).

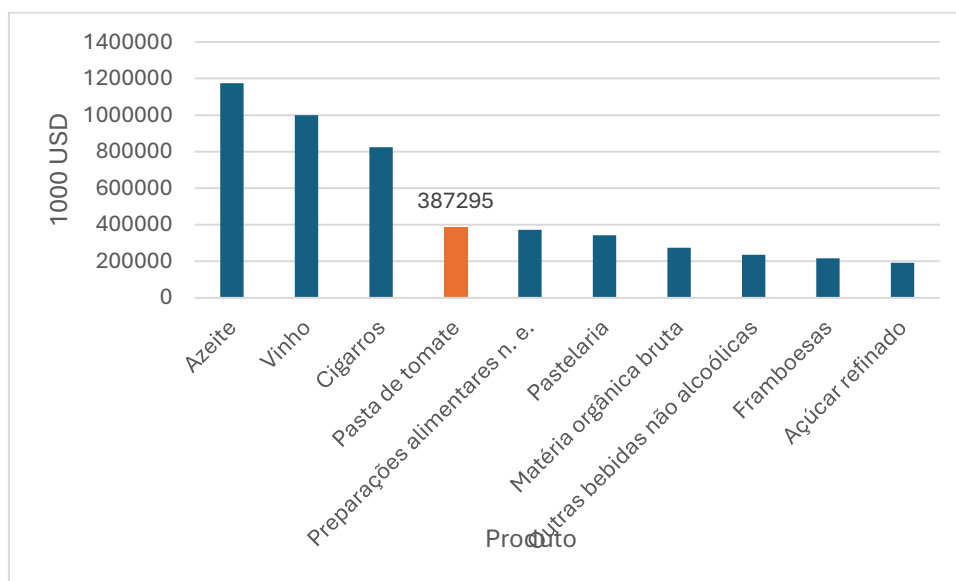


Figura 1 - Top 10 Commodities, Export value in Portugal (FAOSTAT, 2023).

É de destacar o papel de Portugal ao nível da exportação, apresentando-se como o sexto principal país exportador de pasta de tomate, assumindo 8% das exportações mundiais (Fig. 2).

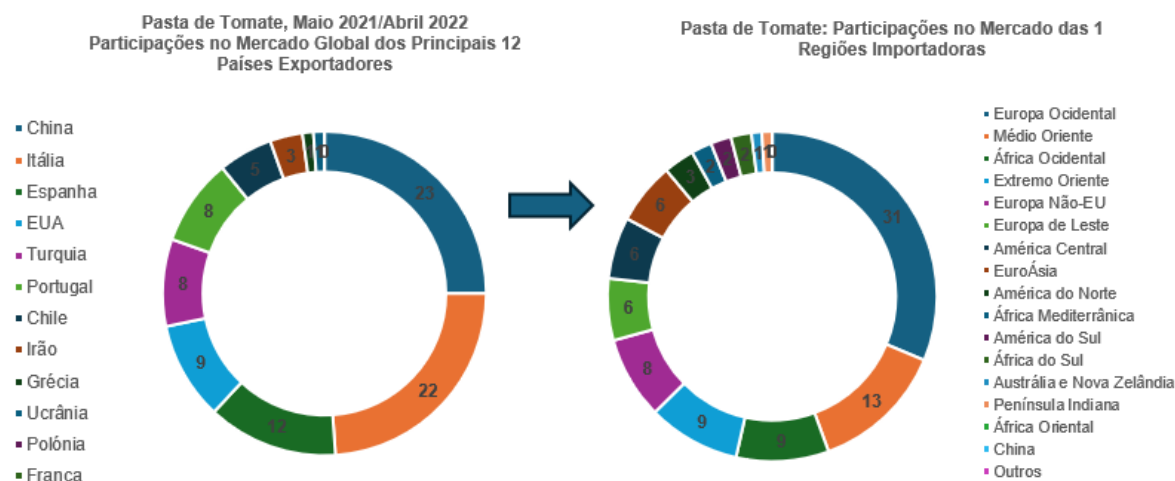


Figura 2 - Top 12 países exportadores de pasta de tomate (Tomato News, 2022).

As exportações de pasta de tomate produzida em Portugal destinam-se maioritariamente às regiões da Europa Ocidental, países da Europa não pertencentes à União Europeia, Extremo Oriente, Europa Oriental, Médio Oriente e África do Sul (Fig. 3).

2021/2022 (Maio-Abril) Comércio Global de Pasta de Tomate dos 12 principais países exportadores para as 16 regiões importadoras													
Para / De	China	Itália	Espanha	EUA	Turquia	Portugal	Chile	Irão	Grécia	Ucrânia	Polónia	França	Total
Europa Ocidental	94 981	376 459	263 420	23 735	41 482	138 681	20 663	860	16 540	10 265	8 243	7 486	1 002 815
Médio Oriente	99 794	9 828	10 014	17 872	193 113	8 587	5280	65 097	3 537	4762	0	13	417 897
África Ocidental	271 683	28 355	239	0	504	660		713	7	35	0	24	302 220
Extremo Oriente	120 389	15 094	22 264	58 860	12 195	36 414	23 021	2	584	2430	0	174	291 427
Europa Não-EU	3 720	97 107	57 390	1 239	2 992	62 617	5 012	212	15 395	2 306	405	1 438	249 833
Europa de Leste	15 035	66 293	37 907	120	6 184	14 397	3 437	1 050	11 851	17 574	9872	732	184 452
América Central	5 912	5 137	2 106	120 735	249	169	47 431	34		0	131	21	181 925
EuroÁsia	106 312	12 765	1 717	3 508	6 834	1 707	1 285	41 403	491	2447	989	55	179 513
América do Norte	520	28 013	3 438	56 896	3 650	579	8 130	107	148	7	101	90	101 679
África Mediterrânica	4 773	48 051	2991	6448	3 212	34	0	1	211	0	0	12	65 733
América do Sul	2 527	9 555	704	1 629	1	136	43861	36		0	0	0	58 449
África do Sul	33 472	10 787	7 657	0	28	3 970	0	82	836	0	19	45	56 896
Austrália e Nova Zelândia	11 135	24 295	406	14 137	1634	466	233	68	99		0	142	52 615
Península Indiana	17485	287	94	5469	414	0	0	1434	17	288		12	25 500
África Oriental	10132	3902	21	0	145	0		102	21			0	14 323
China	719	515	8	2874	4	11	0	19	0	0	116	2	4 268
Outros		1	0	16	0	1		1		0	0	1	20
Total	798 589	736 444	410 376	313 538	272 641	268 429	158 353	111 221	49 737	40 114	19 876	10 247	3 189 565

O comércio global estimado de pasta de tomate foi de 3,4 milhões de toneladas métricas em 2021/2022 (Maio-Abril).
Os 12 principais países exportadores representaram 94% do comércio global estimado.

Figura 3 - Quantidade de pasta de tomate exportada pelo top 12 de países exportadores em função das 16 principais regiões importadoras (Tomato News, 2022).

A **Fig. 4** apresenta a evolução da área dedicada ao tomate de indústria, no período compreendido entre 2011 e 2023, onde se pode observar que na campanha de 2023 foram instalados 17.869 ha de tomate destinados ao processamento industrial, desta forma, verifica-se um aumento de 20,4% de área face à campanha de 2022.

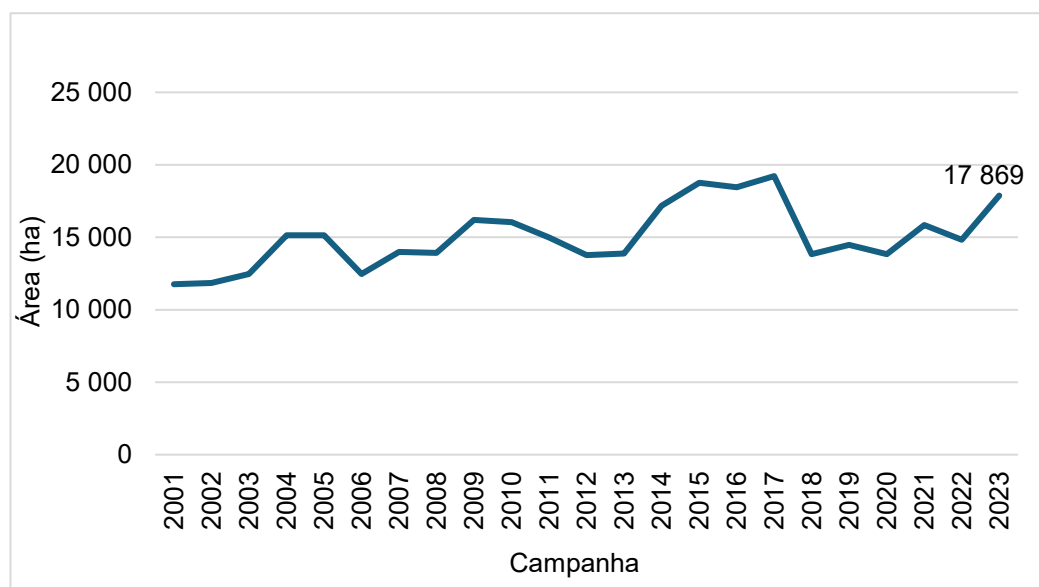


Figura 4 - Evolução da área de tomate de indústria, período 2001-2023, em Portugal (IFAP, 2023).

De acordo com o Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas (IFAP) (2023), a produtividade durante o período compreendido entre 2001 e 2023, tem aumentado ao longo dos anos, tendo-se registado uma produção média de 90,9 t/ha nas últimas dez campanhas (2013-2023), como se pode observar na **Fig. 5**.

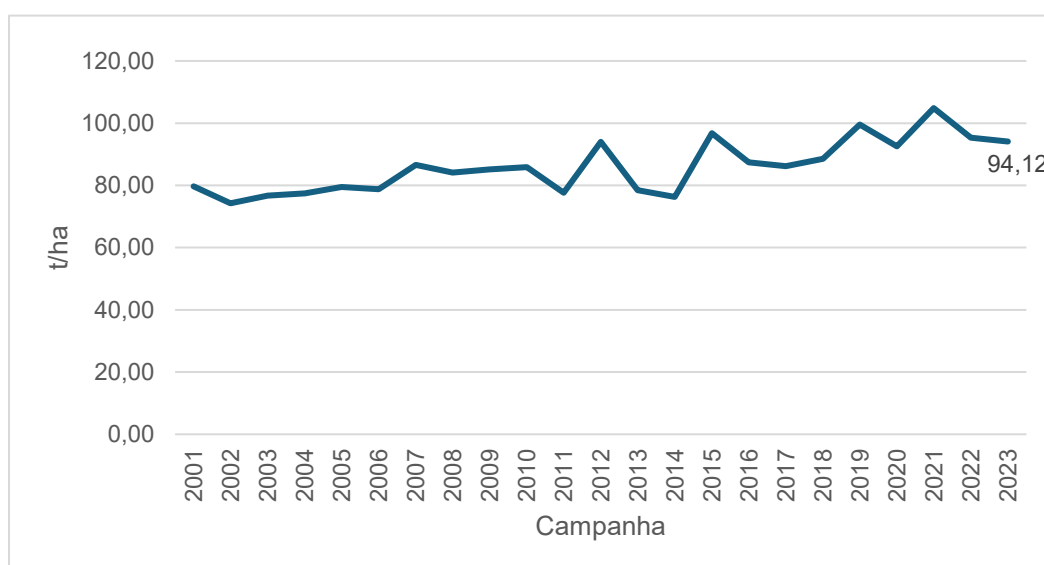


Figura 5 - Produtividade (t/ha), no período de 2001 e 2023, em Portugal (IFAP, 2023)

3.3. Caraterização da cultura do tomate de indústria

O tomateiro é originário do oeste da América do Sul, mais especificamente da região que atualmente abrange o Equador, o Peru, a Bolívia e o norte do Chile (Quezada et al., 2023).

O tomateiro pertence à espécie *Solanum lycopersicum* L. e integra a família das *Solanaceae*. (Peralta et al., 2008).

3.3.1. Descrição da cultura

O tomate é uma planta herbácea de estatura arbustiva, perene, geralmente cultivada como anual em regiões temperadas (Almeida, 2006; Steduto et al., 2012).

Os sistemas de cultivo estão intimamente relacionados com os padrões de crescimento, desta forma, pode considerar-se o crescimento indeterminado e semideterminado, para o consumo em fresco, armação com tutores e colheita faseada e crescimento determinado (Steduto et al., 2012). Importa destacar as cultivares do tipo determinado, por que estas são comumente utilizadas para a indústria de transformação (Alomari-Mheidat et al., 2023).

As cultivares de crescimento determinado são usadas no sistema de cultura horto-industrial, onde se efetua a cultura ao ar livre de forma extensiva, inteiramente mecanizada e com destino à indústria de transformação (Almeida, 2006). Maioritariamente, as cultivares de tipo determinado têm um período de maturação curto e homogêneo e por este motivo adequam-se à colheita mecanizada, que por consequência implica uma única colheita por cultura (Steduto et al., 2012a).

A planta do tomate é uma dicotiledónea estruturada por vários órgãos anatómicos que contribuem para o seu crescimento e desenvolvimento. É constituída por uma raiz axial com uma raiz primária que se estende verticalmente, de onde ramificam raízes laterais que se distribuem horizontalmente no solo (Ouyang et al., 2021). As raízes laterais amplificam a área de superfície radicular e possibilitam à planta uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes (Quezada et al., 2023).

O caule do tomateiro é caracterizado pela sua natureza herbácea, apresenta um crescimento ereto e concede suporte à planta. A partir do caule emergem as folhas, os ramos laterais e as flores e podem desenvolver-se raízes adventícias quando este contacta com o solo. O caule possui na sua constituição pequenos pêlos, denominados tricomas, que podem variar de densidade e têm como principal função conferir proteção contra pragas, reduzir a perda de água e contribuir para a textura geral do caule (Quezada et al., 2023).

As folhas do tomateiro são dispostas alternadamente ao longo do caule, compostas, imparipinuladas, com 7 a 9 folíolos pubescentes (Almeida, 2006). Possuem vários folhetos de formato oval ou lanceolado e margens serrilhadas, e apresentam cor verde, devido à presença de clorofila, essencial à produção de fotossíntese. A lâmina foliar é a porção principal e pode variar em tamanho e forma consoante a variedade de tomate. As folhas têm uma rede de veios que consistem em tecidos vasculares, incluindo o xilema e o floema, que têm como principal função o aporte de água e nutrientes. A superfície das folhas do tomateiro é lisa e coberta por tricomas, que podem variar tanto em comprimento como em densidade. Os tricomas foliares são importantes na proteção contra pragas, na redução da perda de água por transpiração e na regulação da temperatura das folhas (Quezada et al., 2023).

As inflorescências são cimeiras bíparas, que se diferenciam no meristema apical do caule, mas tendo em consideração a ramificação simpodial, assumem uma posição lateral entre as folhas do caule. Atualmente, as cultivares possuem inflorescências com 5 a 12 flores e estas últimas são completas, hermafroditas, actinomórficas e apresentam corola amarela. A polinização autogâmica é predominante, contudo a presença de insetos potencia-a (Almeida, 2006).

Os frutos são considerados bagas pluriloculares e podem assumir diferentes formatos: redondos, piriformes, alongados ou outras (Almeida, 2006). Os lóculos dos frutos apresentam no seu interior uma polpa gelificada que contém sementes imersas. A cor da pele dos frutos varia de verde a vermelho, amarelo, laranja, rosa ou até bicolor, sendo um fator dependente da variedade. O tomate apresenta no topo uma pequena estrutura lenhosa, denominada de pedúnculo, este faz a conexão do fruto ao caule da planta, auxiliando no aporte de nutrientes e no desenvolvimento dos frutos (Quezada et al., 2023)

3.3.2. Fases de desenvolvimento

De acordo com Torres et al. (2015), as diversas fases do ciclo da cultura do tomate de indústria estão diretamente interligadas com o desenvolvimento vegetativo das plantas, assim, pode correlacionar-se a fase de desenvolvimento com a percentagem de solo coberto pela cultura.

O período compreendido entre o transplante das plantas e a colheita pode ser dividido em quatro fases: fase pós-transplante (fase I), fase de crescimento rápido (fase II), fase de crescimento dos frutos (fase III) e fase de maturação (fase IV) (**Fig. 6**). Podem ocorrer divergências temporais em cada fase conforme a variedade e as condições climáticas, sendo a temperatura um dos principais fatores influenciadores do desenvolvimento da cultura, mais especificamente, as baixas temperaturas tendem a prolongar a duração das fases e as altas temperaturas tendem a encurtar as fases.

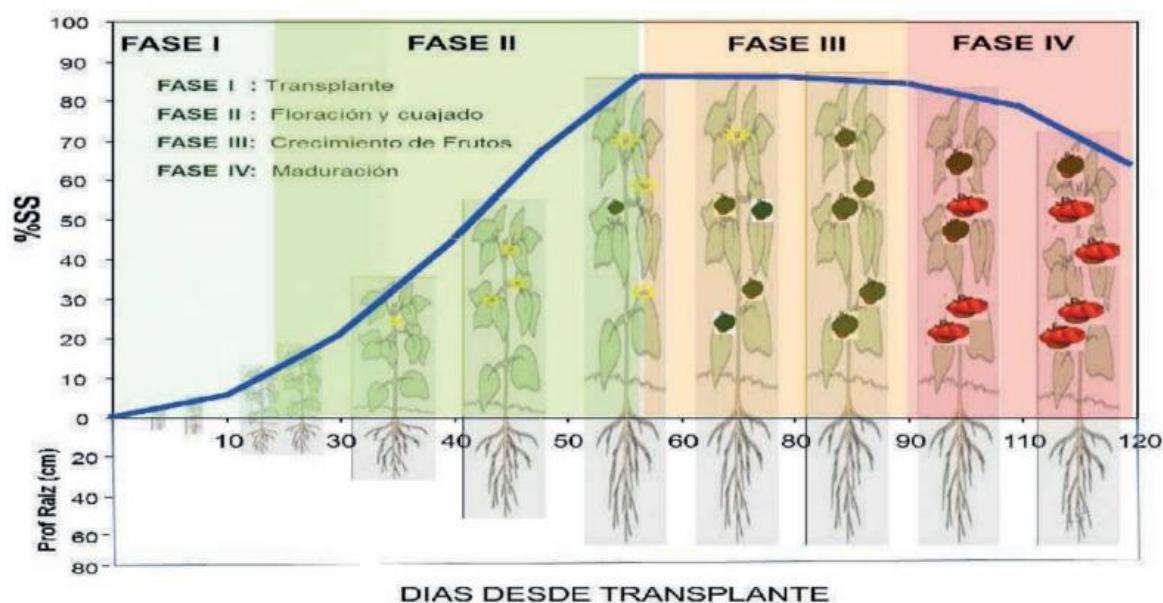


Figura 6 - Fases do ciclo vegetativo da cultura do tomate de indústria com base cobertura do solo (% SS) e no desenvolvimento radicular (exemplo, para uma variedade com ciclo médio de 120 dias) (Torres et al., 2015).

A fase pós-transplante (fase I) inicia-se com o transplante e termina quando o corpo das plantas perfaz 5% da percentagem de solo coberto. A crise de transplantação pode condicionar a duração desta fase, deste modo, a sua duração dependerá da capacidade de recuperação da planta do stress do transplante (Torres et al., 2015).

A fase de crescimento rápido (fase II), é caracterizada por um crescimento vegetativo muito acentuado e a percentagem de solo coberto atinge rapidamente os 80-85%. Em paralelo, verifica-se um acentuado desenvolvimento radicular que alcança a máxima profundidade no final desta fase. Na fase II ocorre a floração e o vingamento e é possível estimar a produtividade máxima com base no número de frutos vingados e na disponibilidade de vegetação para o crescimento e maturação dos frutos. É crucial atingir esta fase com um bom desenvolvimento vegetativo, tendo em conta que o número de flores está interligado com o tamanho do coberto vegetal, assim como é importante garantir as necessidades hídricas das plantas, de modo a evitar o abortamento floral. O défice hídrico durante este período pode desencadear consequências negativas como uma redução do número de frutos vingados, a floração e frutificação podem ser prolongadas, causando

menor uniformização da maturação e podem surgir frutos com podridão apical (Torres et al., 2015).

A fase de crescimento dos frutos (fase III) acontece aquando da estabilização do crescimento vegetativo e após o vingamento dos frutos, ocorrendo de forma gradual, tendo em consideração que a mesma planta pode apresentar frutos em diferentes estádios de desenvolvimento. Durante o crescimento dos frutos é possível identificar dois períodos: inicialmente dá-se um rápido crescimento do fruto e posteriormente o fruto retarda o seu crescimento e acumula grande parte dos açúcares e antioxidantes. No primeiro período é importante haver disponibilidade de água e nutrientes, contudo, no segundo período pode haver um ligeiro défice hídrico que poderá beneficiar a qualidade dos frutos (Torres et al., 2015).

Na fase de maturação (fase IV) ocorre uma mudança gradual da cor dos frutos, caracterizada por uma passagem progressiva da cor verde para vermelho (Torres et al., 2015). Segundo Jaramillo et al. (2007), o amadurecimento organolético do tomate dá-se com a transição da cor verde para o vermelho, devido à decomposição da clorofila e à síntese de licopeno e carotenóides.

3.3.3. Exigências edafo-climáticas

A cultura do tomate requer um clima quente e seco, habitualmente é cultivada durante a primavera e verão. É uma cultura sensível à geada, por isso deve realizar-se em regiões onde não se verifique um período de geadas superior a 110 dias, dado que a exposição a temperaturas inferiores a 6°C provoca efeitos nocivos nas plantas (Almeida, 2006; OECD, 2017).

De acordo com Almeida (2006) a cultura do tomate deve ser efetuada com temperaturas médias superiores a 16°C, tendo em conta que temperaturas inferiores a 16°C diminuem a taxa de crescimento das plantas. Segundo a OECD (2017) a cultura deve desenvolver-se idealmente entre os 12°C durante a noite e os 26°C durante o dia.

Nicola et al. (2009) mencionam que temperaturas do ar abaixo de 10°C e acima de 38°C causam danos nos tecidos vegetais e destacam a importância da temperatura mínima noturna no vingamento dos frutos, dado que temperaturas abaixo dos 21°C podem provocar o seu abortamento. As elevadas amplitudes térmicas podem comprometer a capacidade de frutificação dos frutos.

Almeida (2006) afirma que o vingamento dos frutos é favorecido quando se verificam temperaturas médias entre os 18°C e os 24°C e refere que a temperatura noturna assume um papel crítico no vingamento dos frutos. A capacidade de frutificação das plantas é comprometida quando se registam temperaturas acima de 35°C, pois os grãos

de pólen e o estigma podem secar, ficando a germinação inibida com temperaturas acima de 37°C, pois o tubo polínico não fecunda os óvulos e as flores abortam (Almeida, 2006; Nicola et al., 2009)

A cor dos frutos pode ser influenciada pela superfície das folhas, dado que estas afetam a temperatura dos frutos, assim, os frutos que estão expostos à radiação solar possuem temperaturas superiores quando comparados com frutos ensombrados pelas folhas. Quando se verificam temperaturas nos frutos acima de 30°C, o teor de licopeno diminui significativamente, dado que a biossíntese do licopeno é inibida e o β -caroteno continua a acumular-se normalmente, por consequência a qualidade dos frutos é prejudicada (Almeida, 2006; Brandt et al., 2006; Nicola et al., 2009).

A humidade relativa do ar afeta a evapotranspiração das plantas, a incidência de pragas e doenças e a polinização (Almeida, 2006). Constatase que valores entre os 55% e 60% são importantes para a produção eficaz de pólen e para a polinização. (OECD, 2017). Todavia, o pólen e a germinação podem ser afetados negativamente quando se verificam temperaturas acima de 27°C aliadas a alta humidade, porque a elevada humidade relativa provoca uma agregação dos grãos de pólen e dificulta a polinização, levando a uma diminuição do rendimento da cultura (Almeida, 2006; Steduto et al., 2012)

Relativamente às exigências edáficas, a cultura do tomate requer solos com uma adequada capacidade de retenção de água e arejamento, mas assume uma preferência por solos profundos, de textura franco-arenosa (Steduto et al., 2012). Almeida (2006) corrobora esta afirmação e realça que a cultura do tomate também se adapta a solos com textura franca ou areno-argilosa, salientando que a existência de uma boa drenagem é essencial, pois as plantas possuem pouca tolerância ao encharcamento do solo, particularmente nas fases de emergência e de maturação dos frutos.

A cultura do tomate é moderadamente sensível à salinidade, sendo o seu nível crítico de condutividade elétrica de 2,5 dS/m, contudo, devido à escassez de água em algumas regiões mediterrâneas e áridas, a irrigação da cultura é efetuada com água salina (7 dS/m) provocando uma diminuição na produtividade (Almeida, 2006; Steduto et al., 2012)

O tomate possui moderada tolerância à acidez do solo, portanto, valores de pH entre 5,5 e 7,0 são apropriados à cultura, considerando-se o intervalo ótimo entre 6,0 e 6,5 (Almeida, 2006).

3.3.4. Necessidades hídricas da cultura

A cultura do tomate de indústria é uma cultura globalmente importante, não só pelo seu valor económico, como também pelo seu sistema de cultivo bastante exigente em

água, tanto ao nível do consumo como do uso intensivo de água durante todo o ciclo cultural (Carucci et al., 2023).

As elevadas necessidades hídricas da cultura estão intimamente relacionadas com a maximização da produtividade e com a sensibilidade das plantas ao stress hídrico (Francaviglia & Di Bene, 2019; Zhang et al., 2017). O défice hídrico no solo conjugado com altas temperaturas e uma grande discrepância entre a precipitação e a evapotranspiração são fatores responsáveis pela elevada necessidade de água da cultura. É importante salientar que o défice hídrico pode influenciar negativamente a produtividade da cultura, sendo mais gravoso quando se verifica em fases de desenvolvimento como a floração e a frutificação, pois estas são as mais exigentes em água e nutrientes e períodos críticos para o vingamento e para a formação e crescimentos dos frutos (Francaviglia & Di Bene, 2019).

Steduto et al. (2012) mencionam que a gestão da irrigação deve visar a economia da água, estabilizar o rendimento e melhorar a qualidade dos frutos. Neste sentido, a interrupção da irrigação na cultura do tomate de indústria é efetuada durante a fase de maturação dos frutos. Esta estratégia melhora a qualidade dos frutos, dado que favorece o aumento do teor de sólidos solúveis, contudo as limitações hídricas podem determinar perdas na produtividade da cultura (Almeida, 2006; Patanè et al., 2011).

Quanto ao volume de água necessário durante todo o ciclo da cultura do tomate, os valores estimados não são consensuais entre os autores. Almeida (2006) refere que num clima mediterrâneo, as necessidades de água estimadas situam-se entre os 400-600 mm durante o ciclo cultural. Carucci et al. (2023) acrescentam que o volume de água aplicado pode aumentar devido às alterações climáticas em curso e à ineficiência associada à irrigação. Por sua vez, Steduto et al. (2012) afirmam que a cultura do tomate de indústria consome 400-800 mm de água desde o transplante até à colheita, no entanto, este volume está dependente de vários fatores, como o clima, o tipo de planta, o tipo de solo, os métodos e sistemas de rega e a condução da cultura.

A Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (2024), definiu o ano de 2023, como ano seco (cenário B – condições climáticas secas), para a região agroclimática de Santarém e estabeleceu valores de dotação de rega de referência (m^3/ha) para o tomate (Anexo II), sendo a dotação de referência num ano seco, para o sistema de rega gota-a-gota de $7050 \text{ m}^3/\text{ha}$.

É fundamental conhecer as necessidades hídricas da cultura, as quais dependem da evapotranspiração de referência e da precipitação na região, da fase do ciclo de desenvolvimento da cultura, entre outros fatores, de forma a planear e programar a irrigação (Francaviglia & Di Bene, 2019; Torres et al., 2015). A irrigação assume o papel vital de suprir as diferenças entre as necessidades hídricas da cultura e a precipitação efetiva (Allen et al., 1998; Torres et al., 2015).

O processo de evapotranspiração (ET) é definido pela combinação entre dois processos que ocorrem simultaneamente, ou seja, entre a perda de água do solo por evaporação e pela perda de água da planta por transpiração (Allen et al., 1998).

A ET pode ser afetada por diversos fatores: parâmetros meteorológicos (radiação, temperatura do ar, humidade e velocidade do vento), de cultivo (tipo de cultura, a variedade e o estágio de desenvolvimento, resistência à transpiração, altura da cultura, rugosidade, cobertura do solo e características de enraizamento da cultura) e de gestão e condições ambientais (salinidade do solo, baixa fertilidade do solo, aplicação limitada de fertilizantes, presença de horizontes de solo compactos ou impenetráveis, ausência de controlo de doenças e pragas e mau manejo do solo) (Allen et al., 1998).

A quantidade de água necessária para compensar as perdas da cultura por evapotranspiração corresponde às necessidades hídricas da cultura, que por sua vez, representa a evapotranspiração cultural (ET_c) (Allen et al., 1998).

3.4. Polímeros superabsorventes na Agricultura

Em regiões árias e semiáridas existe um interesse crescente na utilização de polímeros superabsorventes na produção agrícola, por ser uma forma eficaz de aumentar a eficiência de irrigação. Os polímeros, também denominados hidrogéis, quando incorporados no solo possuem a capacidade de reter grandes quantidades de água na sua estrutura e libertam-na lentamente mediante as necessidades da planta (Oladosu et al., 2022; Sultana et al., 2016).

3.4.1. Mecanismo de ação dos polímeros superabsorventes

Os polímeros superabsorventes são constituídos por redes de polímeros hidrofílicos capazes de absorver e reter água e soluções aquosas, mantendo a humidade do solo. Estas redes poliméricas tridimensionais são altamente reticuladas, têm elevado peso molecular, são insolúveis em água, são expansíveis quando em contacto com um meio aquoso, assumindo uma consistência gelificada devido ao armazenamento de água no seu interior (Behera & Mahanwar, 2020; Saha et al., 2020).

Segundo Patra et al. (2022), o hidrogel é um material amorfo de fase semi-sólida que possui redes tridimensionais de macromoléculas hidrofílicas, ligadas entre si por ligações covalentes ou interações físicas, conferindo-lhe a capacidade de reter água na sua estrutura devido aos seus grupos funcionais hidrofílicos, enquanto a sua resistência à dissolução advém das ligações cruzadas entre as cadeias da rede.

Os grupos hidrofílicos têm a aptidão de absorver água e esta quando penetra no sistema por osmose, provoca a libertação de iões positivos, deixando vários iões negativos ao longo da cadeia polimérica. Os iões com carga negativa têm tendência a repelir-se e por consequência a cadeia polimérica expande-se e desenrola-se, levando à atração de moléculas de água para o seu interior através das ligações de hidrogénio (Patra et al., 2022; Yang et al., 2024). A impulsão de moléculas de água do exterior para o interior deve-se às diferenças de pressão osmótica interna e externa, assim, como a concentração de iões dentro da rede do polímero é superior, a água penetra até que seja alcançado um equilíbrio (Yang et al., 2024).

A esta flexibilidade do polímero em alterar a sua estrutura física, efetuando ciclos contínuos de armazenamento e libertação de água e nutrientes, denomina-se mecanismo de intumescimento ou inchaço (Saha et al., 2020).

A **Fig. 7** ilustra o mecanismo de ação do polímero quando incorporado no solo. Durante um período de chuva ou irrigação, o polímero retém água e nutrientes na sua

estrutura criando reservatórios adicionais de água junto da zona radicular, diminuindo as perdas por percolação. À medida que o solo perde água por evaporação, a água e os nutrientes armazenados são libertados gradualmente para as plantas (Saha et al., 2020).

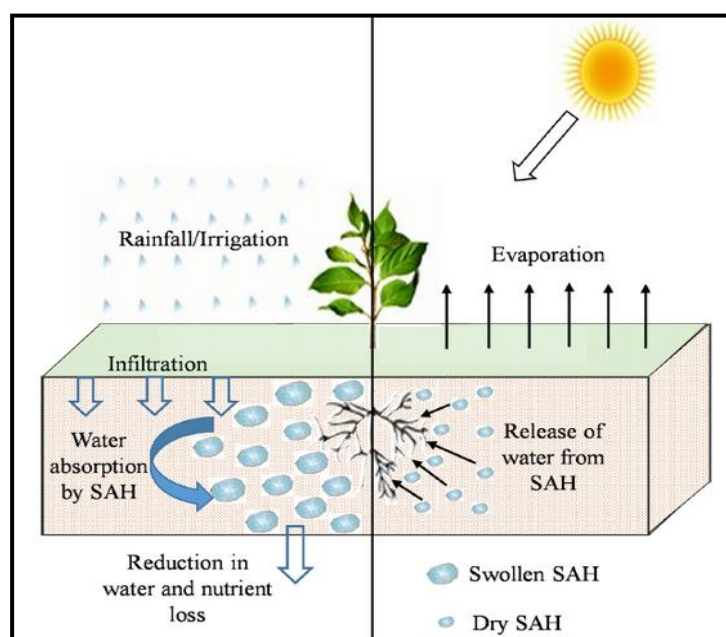


Figura 7 - Mecanismo de ação do polímero - processo de intumescimento (Saha et al., 2020).

3.4.2. Caraterísticas funcionais dos polímeros superabsorventes

As caraterísticas funcionais ideais dos hidrogéis devem contemplar uma alta capacidade de absorção de água a par de uma taxa ajustada de absorção e dessorção de acordo com as necessidades da planta. Devem ter baixa solubilidade e um baixo teor de monómeros e elevada durabilidade e estabilidade durante o processo de intumescimento. Caraterísticas como alta biodegradabilidade e biocompatibilidade aliadas ao facto de o material ser inodoro, incolor e não tóxico mostram-se fundamentais para o meio ambiente. Estes materiais detêm a capacidade de melhorar as propriedades do solo (físicas, químicas e biológicas), boa fotoestabilidade e capacidade de re-humidificação prolongada (Patra et al., 2022).

Além das caraterísticas supramencionadas, Patra et al. (2022) referem novas caraterísticas dos hidrogéis, como: a resistência à salinidade no solo; a promoção do crescimento das raízes, da densidade das plantas e da produtividade; a tolerância ao stress hídrico; o aumento da eficiência do uso da água, ao minimizar a evaporação e as perdas por lixiviação; o atraso no alcance do coeficiente de emurchecimento; a redução da frequência de irrigação e o elevado desempenho em temperaturas altas, sendo adequados a climas quentes e secos.

A aplicação de polímeros como condicionadores de solo ou corretivos de solo permite melhorar as propriedades do solo, principalmente em solos de textura grosseira, tendo em conta que características como a porosidade, a densidade aparente, a capacidade de retenção de água, a permeabilidade e a temperatura são alterados. Além disso, a sua aplicação previne a formação de crosta e cria um meio de crescimento favorável ao crescimento das plantas, dado que reduz a densidade do solo, melhora a oxigenação da zona radicular e mantém a humidade do solo (Patra et al., 2022).

3.4.3. Classificação dos polímeros superabsorventes

De acordo com a sua origem (métodos de preparação e das propriedades físico-químicas), os polímeros superabsorventes podem ser classificados e divididos em dois grupos: naturais e sintéticos. Os polímeros naturais têm origem natural (polissacarídeos e polipeptídeos), como proteínas, amido, glicogénio, celulose, quitina, alginato, agarose, gelatina e colagénio. Os polímeros sintéticos são obtidos através da polimerização de produtos químicos, de base petroquímica, como o ácido acrílico, acrilamida, ácido metacrílico, acetato de vinila, polietilenoglicol (Behera & Mahanwar, 2020; Saha et al., 2020).

Ao nível do processo de degradação, os polímeros podem ser degradáveis ou não degradáveis. Deste modo, considera-se que os polímeros naturais são biodegradáveis e os polímeros sintéticos são não degradáveis (Saha et al., 2020). Os polímeros naturais possuem a vantagem da biodegradabilidade por ação de organismos microbianos, devido à sua génese biológica, pelo contrário, os polímeros sintéticos à base de poliácrlato, libertam produtos químicos tóxicos durante o seu processo de degradação (Behera & Mahanwar, 2020).

A taxa de retenção de água dos polímeros naturais é menor que a dos polímeros sintéticos, portanto devem ser utilizados em maior quantidade quando aplicados no solo. Contudo a utilização dos polímeros sintéticos deve-se principalmente ao seu baixo custo, a um período de vida útil longo e aos elevados níveis de absorção de água, embora possuam efeitos adversos para a saúde do solo e das plantas aquando do seu processo de degradação (Chang et al., 2021).

Quanto à porosidade, os polímeros superabsorventes podem ser classificados como não porosos, microporosos, macroporosos e superporosos (Saha et al., 2020). A porosidade é uma característica muito importante nos polímeros, dado que aumentando a porosidade do solo, aumenta o crescimento das raízes e reduz a erosão dos solos devido à sua menor compactação. A existência de maior porosidade proporciona uma maior quantidade de oxigénio disponível para as raízes das plantas (Behera & Mahanwar, 2020).

Ao nível da formulação, os polímeros podem ser de granulação fina ($<0,5\text{mm}$) e de granulação grossa ($>0,5\text{mm}$). Os polímeros de granulação fina possuem uma grande área de superfície, maior taxa de retenção de água e maior capacidade de água disponível para as plantas, ao invés dos polímeros de granulação grossa que apresentam uma menor área de superfície e menores taxas de retenção de água, tendo menor disponibilidade de água para as plantas (Zheng et al., 2023).

3.4.4. Aplicação de polímeros superabsorventes no solo

Cerasola et al. (2022) referem que aplicaram o polímero com recurso a um microgranulador a uma profundidade de 8 cm nas linhas de transplante.

Vários autores referem que a aplicação dos polímeros na superfície do solo e próximos da raiz das plantas, especificamente entre 0 e 20 cm de profundidade, traz benefícios na temperatura do solo, no aumento da taxa fotossintética e no rendimento das culturas (Elshafie & Camele, 2021; Oladosu et al., 2022; Patra et al., 2022).

Oliveira et al. (1996) nos estudos desenvolvidos em 1989 e 1990 para avaliar os efeitos de diferentes regimes de irrigação na distribuição das raízes do tomateiro, verificaram que as raízes de tomate localizavam-se maioritariamente nos 40 cm superiores do solo, respetivamente 88% e 96% das raízes.

Zotarelli et al. (2009) corroboram esta informação e referem que as raízes desenvolvem-se preferencialmente em torno no emissor de rega. Também constataram que no início da fase reprodutiva, cerca de 70 a 75% do sistema radicular estava concentrado na camada de 0-15 cm do solo, pelo que 15 a 20% das raízes estava localizada na camada de 15-30 cm. Assim, concluíram que vários fatores influenciam a distribuição do sistema radicular no perfil do solo, tais como, a humidade do solo, a disponibilidade de nutrientes e principalmente o estágio de desenvolvimento da planta.

3.4.5. Influência dos polímeros superabsorventes no uso eficiente da água

A produtividade das culturas encontra-se muitas vezes limitada pelas características dos solos, resultado da baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, nomeadamente em solos arenosos. Numa revisão sobre a utilização de polímeros em culturas hortícolas, turfas e pomares, Nirmala & Thirupathaiah (2019) referem os seus efeitos positivos na retenção de água, na melhoria das propriedades do solo, no

desenvolvimento das culturas, na produtividade e na poupança de água, especialmente em regiões áridas e semi-áridas.

Montesano et al. (2015) em ensaios em vaso realizados em estufa, em pepino e manjerição, realçam a importância da aplicação dos polímeros em solos arenosos, afirmando que estes alteraram drasticamente a capacidade de retenção de água no solo. Também verificaram que a importância da utilização dos polímeros previne as perdas de água por drenagem.

Adjuik et al. (2022), compilaram artigos e resultados experimentais de vários autores, realizados entre 2020 e 2022, visando caracterizar os impactos de hidrogéis nas propriedades hidráulicas do solo. Os ensaios foram realizados maioritariamente em laboratório, em solos arenosos e areno-argilosos e concluíram que os polímeros aumentaram a retenção de água no solo, diminuíram a condutividade hidráulica e a infiltração e nalguns casos reduziram a evaporação de água do solo.

O facto de o polímero ter a capacidade de efetuar uma maior retenção de água no solo, proporciona um maior abastecimento de água ao sistema radicular das plantas, que por consequência ditará uma redução da necessidade de irrigação, atuando como uma ferramenta crucial contra o stress hídrico, numa perspetiva de economia hídrica, essencial em zonas de escassez de água (Patra et al., 2022; Saha et al., 2020). Patra et al. (2022) apresentaram perspetivas de aplicação de hidrogéis na agricultura concluindo que é uma técnica promissora para aumentar a produtividade das culturas em situação de stress hídrico.

Saha et al. (2020) referem que em solos arenosos existe um aumento do teor de água disponível para as plantas (reserva utilizável) com a utilização de um polímero, e o efeito da concentração de polímero foi avaliado. Existe uma redução da capacidade de absorção de água em solos salinos. Também enfatizam que a utilização do polímero é mais eficaz em solos de textura grosseira em comparação a solos de granulação fina.

Relativamente à eficiência do uso da água em tomate, Cerasola et al. (2022) conseguiram reduzir cerca de 15,8% da quantidade de água de irrigação, mas salientam que é possível atingir uma redução de 25% com a adição de polímeros superabsorventes ao solo.

3.4.6. Influência dos polímeros superabsorventes na produtividade

Relativamente à influência dos polímeros nas culturas, Saha et al. (2020) constataram que através da aplicação de polímeros superabsorventes o crescimento da parte aérea e o rendimento das plantas aumentaram, tendo por base um aumento do índice de área foliar por planta e o aumento da produtividade.

Mostafa et al. (2018) verificaram que a utilização de polímeros possibilitou um aumento da produção de tomate e do amadurecimento dos frutos em 35%. Também referem que o crescimento das plantas e a redução dos efeitos devido ao stress hídrico, levaram a um aumento da produção de frutos e à diminuição de frutos não comercializáveis. A influência do polímero afetou positivamente o tamanho e firmeza dos frutos.

Igualmente, Cerasola et al. (2022) constataram um aumento do rendimento comercializável (+16,4%), do número total de frutos (+14%) e do número de frutos comercializáveis (+17,2%). Todavia, a aplicação do polímero não afetou significativamente o peso dos frutos, a matéria seca do fruto e a produção de biomassa vegetal fresca.

Mahgoub (2020) verificou um aumento do número e do peso dos frutos nos tratamentos com polímero, quando comparados com o tratamento do controlo com adição de fertilizantes químicos. O aumento de absorção de nutrientes e água pelas plantas pode ser atribuído à sua maior disponibilidade na zona radicular consequente da aplicação do polímero, resultando num aumento de produção e da disponibilidade de nutrientes como azoto (N), fósforo (P) e potássio (K).

A disponibilidade de nutrientes para as plantas pode ser influenciada positivamente pelo aumento da capacidade de troca catónica, que por sua vez está relacionado com a capacidade de expansão do polímero e a atração de iões positivos para a sua matriz tridimensional (Abrisham et al., 2018; Mahgoub, 2020).

Francaviglia & Di Bene (2019) referem que os agricultores frequentemente regam a cultura do tomate de forma excessiva, sem obter ganhos significativos de produção e qualidade dos frutos. Contudo, Patanè et al. (2011) salientam nos seus estudos sobre irrigação deficitária, que é necessária uma irrigação completa com 100% de restituição da ET_c durante todo o período vegetativo, para que se seja possível alcançar o rendimento máximo comercializável, em condições climáticas áridas e semiáridas.

3.4.7. Influência dos polímeros superabsorventes na qualidade

O tomate um alimento funcional que possui vários benefícios para a saúde humana e o seu consumo regular pode atuar preventivamente em determinadas doenças. Isto deve-se principalmente ao seu conteúdo em carotenóides (licopeno e β -caroteno), flavonóides, vitaminas C, E, K1, B2, B9, luteína, potássio, cobre, ferro e fósforo (Carucci et al., 2023; Favati et al., 2009; Lahoz et al., 2016).

Segundo Carucci et al. (2023), quando se trata de produzir tomate de alta qualidade, a gestão da irrigação deve ter consideração tanto a produtividade como os parâmetros de qualidade.

Cerasola et al. (2022) mostraram no seu estudo que relaciona a aplicação de um polímero com diferentes estratégias de irrigação, que a aplicação de um polímero ao solo não afetou os principais parâmetros de qualidade dos frutos.

De acordo com Favati et al. (2009), elevadas quantidades de água fornecidas às plantas podem influenciar negativamente o teor de sólidos solúveis presente nos frutos. Pelo contrário, aquando do fornecimento de volumes de água limitados as plantas podem apresentar frutos de menor tamanho e rendimentos inferiores.

Patanè et al. (2020) verificaram nos seus estudos sobre os efeitos da irrigação deficitária em tomate de indústria, que uma redução de 50% da ET_c levou a um aumento do teor de sólidos solúveis da firmeza dos frutos. Patanè & Cosentino (2010) observaram maiores diferenças no teor de sólidos solúveis entre locais de cultivo do que no mesmo local com diferentes estratégias de irrigação deficitária, realçando que deve ser tida em consideração a interação entre a irrigação e o ambiente na avaliação dos parâmetros de qualidade.

A cor do tomate está relacionada com o teor de licopeno presente nos frutos, sendo este pigmento vegetal responsável pela coloração vermelha dos frutos. A cor é fundamental para a determinação do estado de maturação dos frutos (Calvo et al., 2008; Garcia & Barrett, 2006; Gastélum-Barrios et al., 2011).

Relativamente à avaliação da cor, verificou-se que este parâmetro não foi influenciado pelo regime de irrigação, contudo verificou-se que os frutos apresentaram melhor cor em tomate irrigado sob stress hídrico (Favati et al., 2009).

No mesmo sentido, o teor de licopeno pode ser influenciado pelo genótipo, pela irrigação e pelas condições ambientais. Portanto, um menor teor de licopenos está relacionado com dotações de rega acima de 100% da ET_c (Lahoz et al., 2016). Favati et al. (2009) corroboram estes resultados no seu estudo, indicando que regimes de irrigação reduzidos contribuíram para aumentar significativamente o teor de licopeno e β -caroteno.

O pH assume especial importância no processamento de tomate, pois reflete o nível de acidez, assegurando a estabilidade microbiológica do produto processado (Calvo et al., 2008; Favati et al., 2009; Garcia & Barrett, 2006).

Quanto à firmeza dos frutos, foi relatado que um aumento deste parâmetro está relacionado com o aumento do stress hídrico no solo, dado que existe uma diminuição da capacidade de turgescência das células que compõem a parede celular (Patanè & Cosentino, 2010).

4. Material e Métodos

4.1. Localização do Ensaio

O ensaio decorreu entre 27 de abril e 21 de agosto de 2023, na parcela Vale Queimado, situada em Salvaterra de Magos, pertencente ao agricultor José Moço. A parcela possui um total de 4 hectares e as seguintes coordenadas geográficas: latitude $39.018923^{\circ}\text{N}$; longitude $-8.746039^{\circ}\text{W}$ (**Fig. 8**).

É de salientar que toda a gestão e monitorização do campo esteve a cargo do agricultor José Moço e do seu filho (Rúben Moço), assumindo o controlo de todas as operações culturais, como a preparação do solo, o transplante, a sacha, a gestão da irrigação, a fertilização do campo, os tratamentos fitossanitários e a respetiva colheita.



Figura 8 - Localização da parcela Vale Queimado (Google Earth).

4.2. Caracterização edafo-climática da parcela

De acordo com a Carta de Solos disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informação do Solo (**Fig. 9**), a parcela Vale Queimado é classificada como Regossolo (Rg).

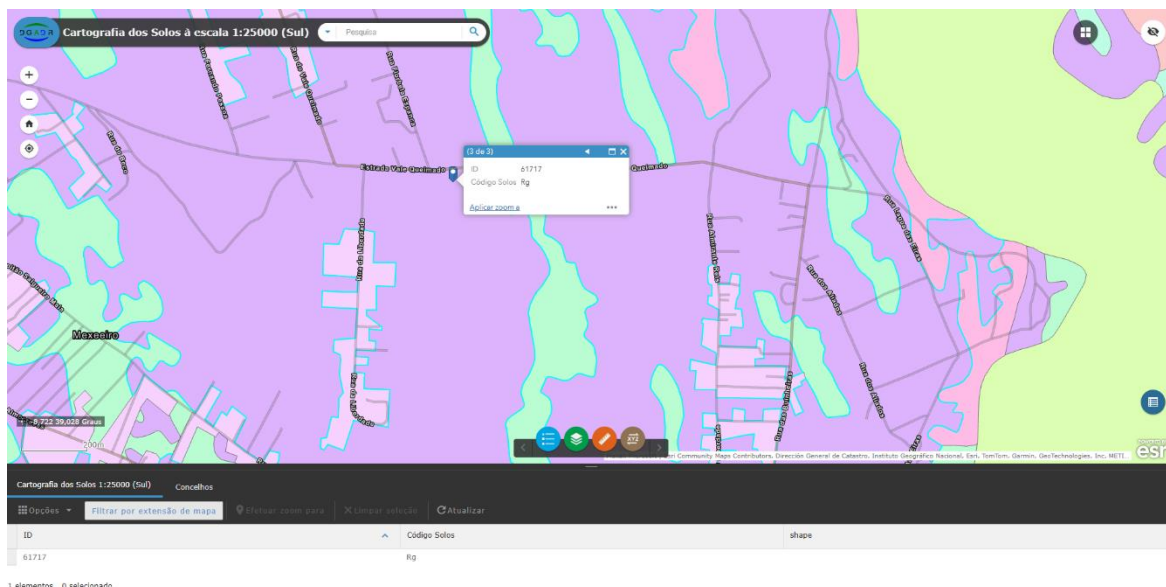


Figura 9 - Mapa de solos, à escala 1:25 000, com a localização da parcela (Fonte: SNISolos – Sistema Nacional de Informação do Solo (<https://www.snisolos.dgadr.gov.pt>)).

Os solos do local onde foi realizado o ensaio foram cartografados por Cardoso, (1965) como Regossolos Psamíticos, Normais, não húmidos (Pg, de acordo com a classificação portuguesa). Estes solos pertencem à ordem dos solos incipientes, que se caracterizam por serem solos não evoluídos, sem horizontes genéticos claramente diferenciados, praticamente reduzidos ao material originário.

Na descrição deste tipo de solos, Cardoso (1965) menciona que são formados por materiais não consolidados, geralmente de grande espessura efetiva, com textura arenosa, sem estrutura, não aderentes, não plásticos e soltos. Além disso, tendem a ser mais ou menos ácidos e apresentam pouca ou nenhuma diferenciação. Quando presente, o horizonte A1 é delgado e contém apenas uma pequena acumulação de matéria orgânica.

Segundo a análise realizada ao solo ([Anexo II](#)), a parcela possui um tipo de solo arenoso, de textura grosseira, composto por 94% de areia e 6% de limo, com um pH neutro (7), muito pobre em matéria orgânica (0,8%) e apresenta teores de fósforo extraível muito altos (468 mg/kg), teores normais de magnésio extraível (0,74 meq/100g) e um baixo teor de potássio extraível (0,31 meq/100g).

A água destinada à irrigação é captada de um furo localizado no topo sul da parcela, como se pode observar no esquema do delineamento (**Fig. 16**). De acordo com a análise efetuada ([Anexo III](#)), a água analisada é de origem continental, apresenta um pH neutro

(7,4) e condutividade elétrica de 414 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando que não existem restrições de uso. A análise também mostra uma ligeira a moderada restrição de uso devido ao teor de bicarbonatos (2.19 meq/l) e ao índice de razão de adsorção de sódio corrigido (4.41).

Dado que a parcela se localiza em Salvaterra de Magos, pertencente à região da Lezíria do Tejo, vigora um clima mediterrâneo, caracterizado por verões quentes e secos e por invernos frios e húmidos. As Normais Climatológicas, no período 1991-2020, estão disponíveis para a estação de Santarém (Fonte Boa), sendo a estação mais próxima de Salvaterra de Magos e são representadas nas **Fig. 10 e 11**.

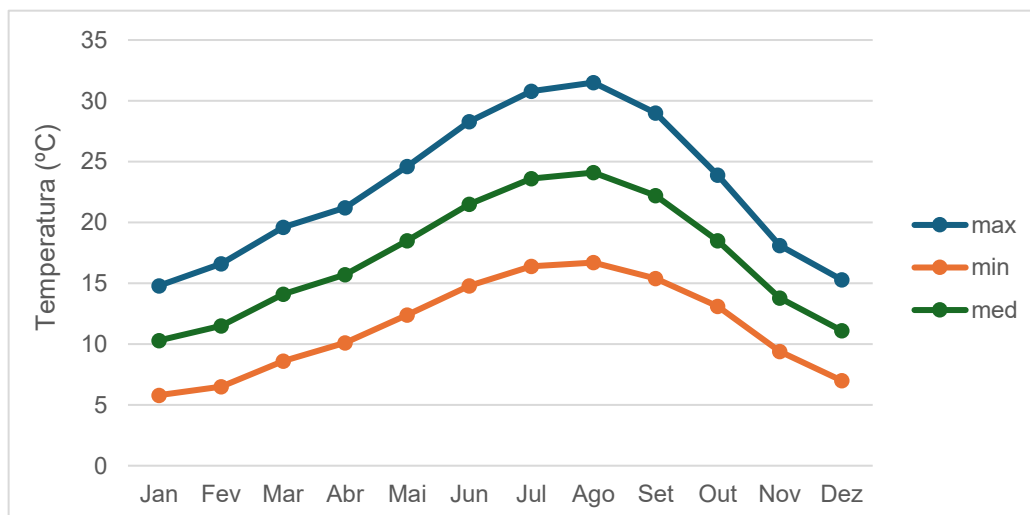


Figura 10 - Temperatura do ar, Santarém (Fonte Boa), Normal Climatológica (1991-2020). (Fonte: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1991-2020/#535>)

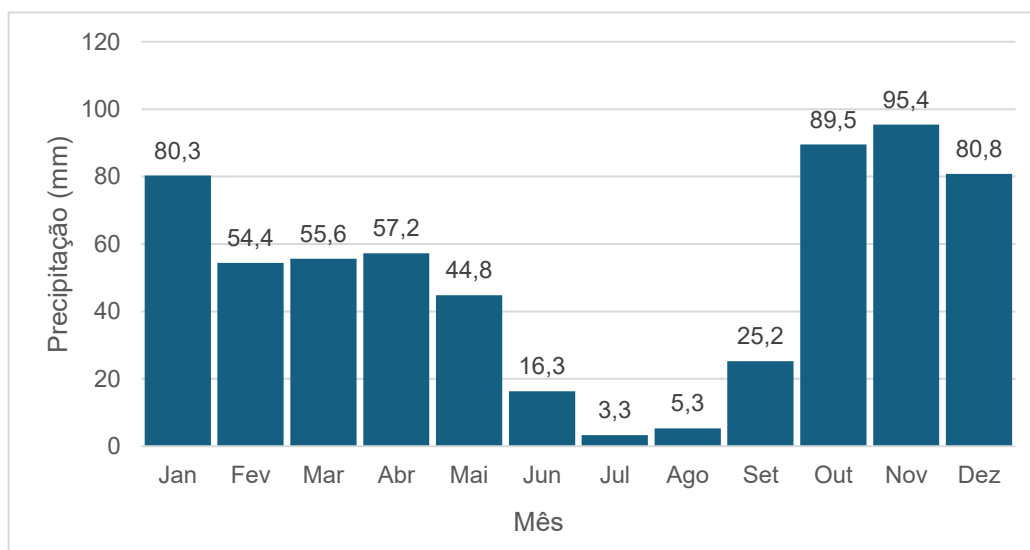


Figura 11 - Precipitação, Santarém (Fonte Boa), Normal Climatológica (1991-2020). (Fonte: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1991-2020/#535>)

A precipitação anual corresponde a 608 mm, concentrada no semestre húmido (outubro a março – 456 mm) e com 152 mm no semestre seco (abril a setembro), dos quais

34 mm nos meses de verão. A temperatura média anual é de 17,1°C, mais especificamente, no inverno é de 12°C e no verão 23,3°C.

Durante o ensaio, os dados meteorológicos foram obtidos pela estação meteorológica localizada na Lezíria de Vila Franca de Xira, mais exatamente na zona do Torrão (**Fig. 12**).



Figura 12 - Localização da estação meteorológica (Google Earth).

A estação meteorológica do Torrão (**Fig. 13**), permitiu recolher dados de pluviosidade, temperatura, velocidade do vento, evapotranspiração de referência (ET_0), humidade relativa e quantidade de radiação solar.



Figura 13 - Estação meteorológica do Torrão.

4.3. Caraterização do polímero X

Respeitando o pedido da empresa Kagome Agri-Business R&D Center, Unipessoal Lda. para que mantivesse o nome do polímero utilizado no ensaio incógnito, daqui em diante será denominado como polímero X.

O polímero X é um polímero superabsorvente que possui a capacidade de reter até 50 vezes o seu peso em água, melhora a capacidade de absorção de água e da humidade do solo, sendo possível alcançar uma redução de água de 40% e de 20% de fertilizantes.

Trata-se de um polímero orgânico, desenvolvido a partir da tecnologia de “*upcycling*”, ou seja, pela transformação de cascas de frutas, como a laranja e a banana. Na sua formulação apenas são utilizados produtos orgânicos, sendo totalmente biodegradável, compostável e atóxico (**Quadro 1**).

Relativamente à sua constituição, este polímero contém:

Quadro 1 – Constituição do polímero X.

Composição	g/100g
Matéria Orgânica	43,79
Carbono Orgânico	25,40
Cálcio	1,01
Potássio	0,80
Magnésio	0,98
Sódio	0,03
Outros	27,90

O polímero X tem a capacidade de absorver e libertar água no solo durante 6 meses, após esse período inicia o processo de degradação que fica completo ao fim de 12 meses. Após a sua degradação, não deixa resíduos nocivos no solo.

Como o ensaio decorreu no campo, foi utilizada uma formulação em forma granular (**Fig. 14**) ao invés da formulação em pó, pois a forma granular possui uma capacidade de absorção de água mais lenta.



Figura 14 - Polímero X (forma granular).

No que toca às condições de armazenamento, é desejável que seja guardado em sacos estanques, a temperatura e humidade constantes. Não é recomendável a exposição a altas temperaturas, a humidade elevada e à luz solar direta. Após a abertura, o saco deve voltar a ser fechado de modo a evitar o contacto com o ar.

4.4. Caraterização da variedade de tomate de indústria

Para a realização deste ensaio foi utilizada a variedade UG 16112, pertencente à United Genetics (**Fig. 15**). É uma variedade com ciclo médio-tardio, a planta é vigorosa e com boa cobertura foliar. O seu caráter “*Extended Field Storage*” (EFS) confere-lhe uma excelente capacidade de resistência em campo.



Figura 15 - Variedade UG16112 (United Genetics Italia, 2023).

Os frutos apresentam um formato oval, com uma excelente espessura da parede, são resistentes ao amadurecimento excessivo e possuem um peso médio entre 75-85 g. Têm uma cor uniforme e alto grau Brix. A variedade possui alta resistência a *verticillium* e *fusarium wilt 0-1* e resistência intermédia a pseudomonas, nemátodos e ao TSWV (*Tomato Spotted Wilt Virus*) (United Genetics Italia, 2023).

4.5. Delineamento Experimental

A parcela foi dividida em dois setores de 2 hectares cada: grupo de controlo e grupo do polímero X. Cada grupo apresentou na sua constituição 27 linhas de plantas, com uma distância entre as plantas na linha de 0,21 m e a distância na entrelinha de 1,52 m, o que fez uma densidade de plantação de 30500 plantas/ha (**Fig. 16**).

Foi instalado um sistema de irrigação localizada à superfície (gota-a-gota) no momento da plantação e simultaneamente, foi aplicado o polímero no solo, com recurso a uma plantadora de copos de três linhas com o microgranulador-doseador acoplado e com os suportes dos rolos da fita de rega.

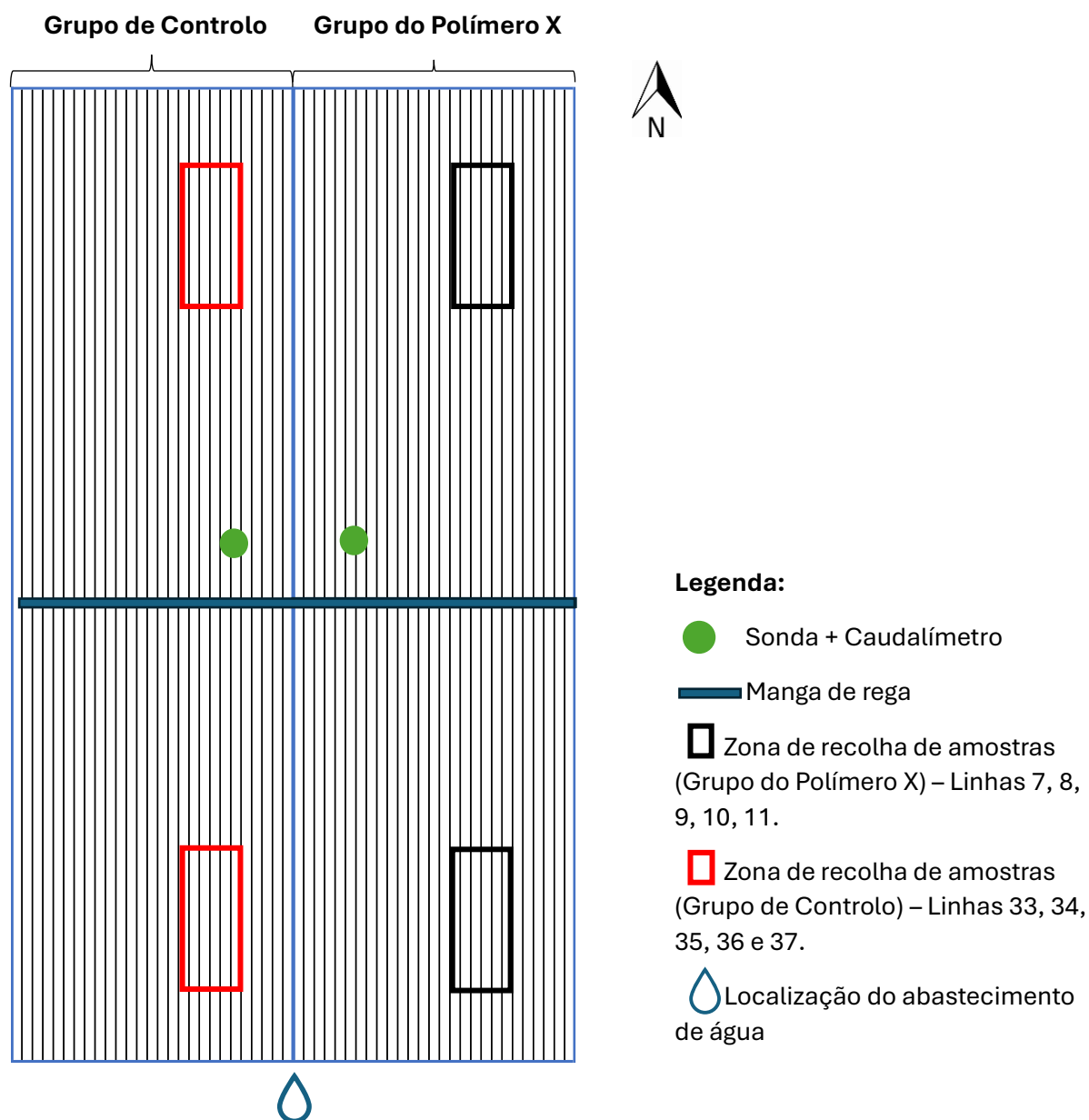


Figura 16 - Esquema do delineamento experimental do ensaio.

4.6. Metodologias

4.6.1. Aplicação do polímero X

O polímero X destinado ao ensaio estava armazenado em sacos de 5 Kg. A aplicação do polímero X foi realizada com recurso a um microgranulador-doseador acoplado a uma plantadora de copos de três linhas (**Fig. 17**). O polímero X foi introduzido no microgranulador-doseador e através da gravidade e do sistema de doseamento caía para o interior das três mangueiras que efetuavam a ligação do microgranulador-doseador até ao localizador de adubo (tubo metálico anexado às facas que rasgam o solo).



Figura 17 – Microgranulador-doseador acoplado à plantadora de copos de três linhas.

Cada mangueira localizou o polímero X na zona central de cada camalhão, precisamente no local onde as plantas foram instaladas. O polímero X foi aplicado a uma profundidade de 5 cm, como se pode observar na **Fig. 18**. A quantidade de polímero aplicado por hectare foi de 22,5 kg e tendo em conta que o setor tinha uma área de 2 ha, fez um total de 45 kg de polímero.



Figura 18 - Aplicação do polímero X durante a plantação.

4.6.2. Recolha de amostras foliares e análise de nutrientes

No que toca às amostras recolhidas durante o ensaio, em cada grupo foram colhidas, de forma aleatória, 10 amostras foliares aos 40, 60, 80 e 100 dias após a plantação (DAP). As amostras de cada grupo foram recolhidas dentro da área delimitada no esquema do delineamento (**Fig. 16**). Ao recolher as folhas, percorreu-se uma distância de 25 m da cabeceira para o interior da parcela e efetuou-se a recolha das folhas aleatoriamente num espaço de 10 m. Esta circunscrição foi efetuada de maneira a evitar as “linhas da cura” e desta forma, o espaço de recolha não foi afetado pelos rodados do trator.

No grupo do polímero X recolheram-se amostras referentes às linhas 7, 8, 9, 10 e 11 e no grupo de controlo recolheram-se amostras nas linhas 33, 34, 35, 36 e 37, nos topos sul e norte da parcela.

Cada amostra foliar, foi constituída por doze folhas terminais de um ramo que continha cachos florais em média maturação. Entenda-se média maturação como cachos que não possuam flores vingadas e simultaneamente não possuam flores muito jovens e fechadas.

Foi identificado um ramo com estas características e da folha oposta foi colhida a folha terminal (**Fig. 19**).



Figura 19 - Ramo com cacho floral em média maturação e folha terminal.

Cada análise foliar teve por base os doze pecíolos das folhas terminais (**Fig. 20**). A preparação das amostras foliares envolveu a retirada das pequenas folhas do pecíolo e o corte da folha terminal. Após a devida preparação dos pecíolos, estes foram colocados numa pequena rede e espremidos para o óculo das respectivas “canetas” HORIBA LAQUAtwin NO_3^- , LAQUAtwin K^+ e LAQUAtwin Ca^{2+} , a fim de avaliar a concentração de azoto, potássio e cálcio (**Fig. 20**).



Figura 20 – Preparação dos pecíolos das folhas terminais para análise de nutrientes e análise exemplificativa.

4.6.3. Avaliação do desenvolvimento das plantas

Também foi avaliado o desenvolvimento das plantas, através da medição da altura (cm) e da largura no camalhão (cm), com recurso a uma fita métrica. Esta avaliação foi realizada aos 40, 60, 80 e 100 DAP nas linhas 7, 8, 9, 10 e 11 no grupo do polímero X e nas linhas 33, 34, 35, 36 e 37 no grupo da testemunha, nos topos norte e sul. Em cada linha foram efetuadas três medições no espaço de 10 m lineares, sempre no sentido do centro da parcela.

4.6.4. Avaliação da taxa de exsudação das raízes das plantas

O *root mass test* ou “teste do algodão” (Ma et al., 2004), pretendeu avaliar a taxa de exsudação das extremidades cortadas dos caules dos tomateiros nos dois tratamentos. Esta taxa é um reflexo da atividade fisiológica da raiz, uma vez que é causada pela absorção ativa de água pela mesma. Segundo Ma et al. (2004), a taxa de exsudação das raízes resulta do produto da taxa de respiração das raízes e do peso das raízes. Nos seus estudos em soja, os autores descobriram que o peso da raiz possui uma influência mais forte na taxa de exsudação, pelo que concluíram que quanto maior for o peso da raiz, maior será a atividade respiratória das raízes, logo maior será a taxa de exsudação.

Este teste foi realizado no dia 13/07/2023, próximo aos 80 DAP, correspondendo à fase III do ciclo vegetativo (fase de desenvolvimento dos frutos). Nesta fase, o sistema radicular já havia alcançado o seu desenvolvimento máximo e reuniu condições para a realização do teste. A principal finalidade do teste foi avaliar a taxa de exsudação das raízes das plantas de cada grupo.

O teste foi realizado nas zonas delimitadas em cada grupo, respetivamente, nas linhas 8, 9 e 10 do grupo do polímero X e nas linhas 34, 35 e 36 no grupo da testemunha. Este teste pressupõe o corte de três plantas em cada linha de cada grupo, no topo sul e norte da parcela, e teve uma duração de uma hora por cada conjunto de três caules.

A realização deste teste pressupõe a interrupção da rega nos dois grupos e foi efetuada simultaneamente nas quatro zonas em estudo. O corte dos caules apenas foi realizado no momento da colocação dos algodões.

O teste possuiu uma duração de uma hora por cada conjunto de três caules e foi conduzido na seguinte sequência: em primeiro lugar, nas linhas 8, 9 e 10 do topo norte do grupo do polímero X; em segundo lugar, nas linhas 34, 35 e 36 do topo norte do grupo da testemunha; em terceiro lugar, nas linhas 8, 9 e 10 do topo sul do grupo do polímero X; e, por último, nas linhas 34, 35 e 36 do topo sul do grupo da testemunha.

Portanto, delimitou-se o espaço com placas com identificação do grupo, da respetiva linha e do tempo de início e fim do teste. Efetuou-se o corte dos três caules e de imediato colocaram-se os algodões, cobriu-se com película aderente e colocaram-se frutos para fazer peso e garantir que o algodão e a película permanecessem no local exato a absorver a seiva (**Fig. 21**).



Figura 21 - Root Mass Test.

É importante referir que todos os algodões foram pesados previamente e após o término do *root mass test*, os algodões foram imediatamente guardados em sacos de plástico selados e posteriormente efetuou-se a pesagem numa balança de alta precisão (Radwag AS 110.R1) (**Fig. 22**).

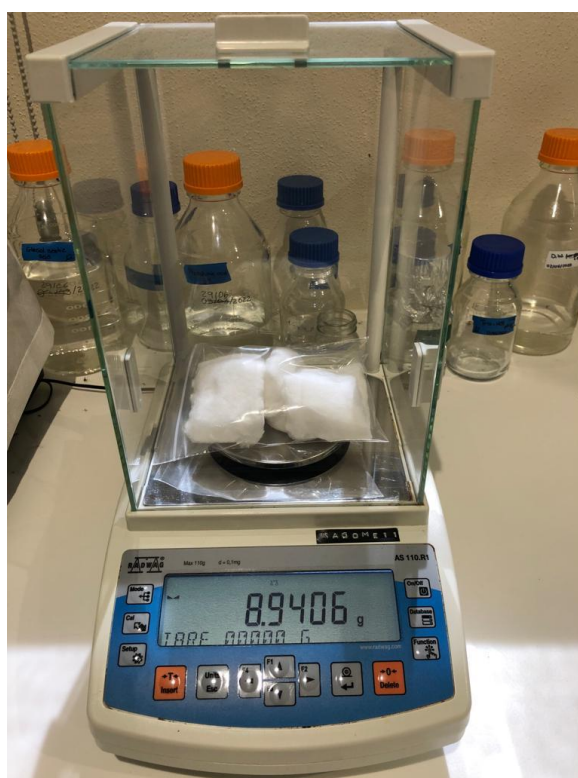


Figura 22 - Pesagem dos algodões na balança de alta precisão.

4.6.5. Avaliação da produtividade

Para a avaliação da produtividade efetuou-se um “*Shaking Test*” no dia 17/08/2023 e teve como principal objetivo estimar a produtividade de ambos os grupos em estudo, e também avaliar a maturação dos frutos.

Este teste teve um carácter destrutivo que levou ao corte de três plantas por cada linha e foi realizado nas zonas delimitadas inicialmente em ambos os grupos, nos topos sul e norte da parcela, e também em duas zonas (uma em cada grupo) ao centro da parcela. Após o corte das plantas contabilizou-se o número de frutos vermelhos, laranjas, verdes e podres, e registou-se o peso dos frutos vermelhos, laranjas e verdes. A massa verde das plantas também foi quantificada.

A estimativa de produtividade (t/ha) do *shaking test* teve por base a análise do rendimento comercializável, entenda-se rendimento comercial pelo conjunto dos frutos vermelhos (tomate A) e frutos laranjas (tomate B), pois estes são considerados os frutos comercializáveis. Contrariamente, os frutos verdes e podres (esmagados e com podridão apical) são considerados não comercializáveis.

Também para efeitos de avaliação da produtividade, o processo de colheita mecanizada foi diferenciado, portanto, foram colhidas três galeras do grupo do polímero e três galeras do grupo de controlo. Esta diferenciação mostrou-se muito importante tanto para os cálculos de produtividade, como para a classificação da matéria-prima na fábrica. Durante a colheita foi registada a distância (em metros) que a máquina colhedora percorreu para encher uma galera, a fim de se calcular a produção de tomate por hectare, com recurso a um topómetro MW40M (Stanley).

O processo de colheita mecanizada diferenciado teve início dia 21/08/2023 e permitiu efetuar a análise de produtividade de ambos os grupos, como também foi crucial para a análise dos parâmetros de qualidade no momento da classificação da matéria-prima.

No campo, a abertura da rua para possibilitar o início da colheita e a entrada do trator com a galera engatada na quinta roda, foi efetuada na divisão física entre os dois grupos, para que facilitasse a diferenciação de colheita de galeras de cada grupo. A diferenciação revelou-se um processo difícil no campo, tendo em conta a morosidade das operações, porque a máquina colhedora apenas tem o braço com o tapete elevatório direcionado num sentido, e o operador da máquina teve de efetuar percursos sem colher tomate. Este procedimento aliado às altas temperaturas e principalmente pelo facto de se tratar de um solo arenoso dificultou muito a colheita.

Aquando da chegada das galeras de tomate à fábrica, estas foram pesadas e a matéria-prima classificada. No processo de classificação, foi retirada uma amostra do caminhão, de aproximadamente 10 kg, através de uma sonda e seguidamente procedeu-se à classificação do tomate. Cada amostra foi pesada e introduzida na lavadora. Após a lavagem, foram registadas as percentagens correspondentes aos corpos estranhos/inertes, frutos podres/doentes, frutos verdes, frutos laranjas e com pedúnculo e frutos vermelhos e sadios (**Fig. 23**). A mesa de escolha está equipada com uma balança, que calcula as percentagens por categoria em função do diferencial de peso. A taxa de depreciação (%) foi obtida através da soma da depreciação da categoria E (corpos estranhos ou inertes), da categoria D (podres ou doentes) e categoria C (tomate verde).



Figura 23 - Processo de classificação do tomate (exemplo).

A produtividade deste método foi calculada com base na média de produtividade de cada grupo, em função da distância percorrida pela máquina (em metros). Para o cálculo da produtividade média, foi considerado o peso classificado, obtido através da diferença entre o peso líquido e a respetiva taxa de depreciação e refletiu o peso de tomate admitido à transformação.

Também para efeitos de produtividade, foram analisados os ficheiros, em formato *shapefile*, do mapeamento da máquina colhedora de tomate (Guaresi Super G 48), equipada com o sistema TOPCON YieldTrakk YM-2, no programa ArcGis.

Devido às dificuldades sentidas durante a colheita, causadas pelas temperaturas elevadas e pelos atascamento frequentes, foi necessário mobilizar uma segunda máquina

para o campo, porém não dispunha de sistema de mapeamento, o que limitou a obtenção de dados georreferenciados.

Na análise dos ficheiros *shapefile*, foram estabelecidos limites inferiores e superiores para os dados registados, sendo excluídas as linhas correspondentes à abertura das ruas. Esta exclusão foi efetuada com base em dois critérios: 1 – presença de tomate de ambos os grupos numa linha da rua; 2 - influência na produtividade, isto é, uma vez que o tomate colhido aquando da abertura da rua caiu sobre outra linha, criou um efeito de sobreposição, podendo distorcer a leitura da máquina aquando da sua colheita, porque contabilizaria o tomate de duas linhas numa só.

A limpeza dos dados, incluiu a eliminação de *outliers*, foi efetuada através da colocação de limites inferiores e superiores. O limite inferior foi definido em 10 t/ha, através da exclusão de valores mais baixos de produtividade que se localizavam sobretudo nas cabeceiras e que estavam relacionados com as voltas da máquina e com as paragens da máquina devido a atascamento da galera que a acompanhava. O limite superior foi definido em 180 t/ha, tendo em conta a condução do campo, a máxima capacidade produtiva da variedade, tendo em conta as suas características genéticas e os resultados de produtividade alcançados no *shaking test* e no processo de colheita diferenciado de galeras.

4.6.6. Avaliação da eficiência do uso da água de irrigação

A eficiência do uso da água de irrigação (t/m^3) foi calculada, para cada grupo (testemunha e polímero X), através da razão entre a produção de frutos (t/ha) e o volume total de irrigação (m^3/ha) (Carucci et al., 2023; Patanè et al., 2011). Este cálculo teve por base a produtividade alcançada em cada grupo e os valores registados no respetivo caudalímetro.

Ao caudalímetro do grupo do polímero X foi atribuído o código 2411 e ao do grupo da testemunha o código 2416.

4.6.7. Avaliação da qualidade dos frutos

Para avaliar a qualidade dos frutos em laboratório, procedeu-se à colheita de vinte frutos vermelhos e sadios antes do início da colheita do campo, a fim de avaliar o grau Brix ($^{\circ}$ Brix), a cor (a/b), o pH e o teor de licopenos. Foram apanhadas amostras correspondentes a cada tratamento, isto é, uma amostra por cada linha 7, 8, 9, 10 e 11 no

grupo do polímero X e uma amostra por cada linha 33, 34, 35, 36 e 37 no grupo de controle, tanto no topo sul como no topo norte da parcela.

Para cada amostra foram realizadas três leituras para cada análise de °Brix, cor (a/b), pH e licopenos. No laboratório, o °Brix foi analisado numa unidade Maselli LR-02 Digital Refractometer, a cor (a/b) e os licopenos foram analisados numa unidade Maselli LC01 equipado com um colorímetro e um espectrofotômetro e o pH foi medido através do potenciômetro Mettler Toledo Seven Compact pH/Ion.

Além destes parâmetros qualitativos, também foi avaliada a firmeza dos frutos através do protocolo da Kagome Agri-Business R&D Center. Este protocolo incluiu a análise de dez frutos por cada amostra, sendo efetuada uma leitura por cada fruto através do medidor de compressão (Force Measurement IMADA) e os valores foram registrados em kilograma-força (kgf) (**Fig. 24**).



Figura 24 - Avaliação da firmeza dos frutos através do medidos de compressão (Force Measurement IMADA).

Relativamente às galeras em que a colheita foi diferenciada, após a classificação, os frutos vermelhos e sadios foram analisados qualitativamente, assim, analisou-se o grau Brix (°Brix), a cor (a/b), o pH e os licopenos, através da unidade Maselli TR01, equipada com um refratômetro, um potenciômetro e um espectrofotômetro-colorímetro (**Fig. 25**).



Figura 25 - Análise de °Brix, cor, pH e licopenos na classificação com recurso à unidade Maselli TR01.

4.7. Tecnologias de monitorização

Foram instaladas duas sondas da empresa DXAS “Agriculture Technology”, uma em cada grupo em estudo, ou seja, 2411 para o grupo do polímero X e 2416 para o grupo da testemunha.

Cada sonda tinha na sua constituição um painel solar para carregar a bateria e duas entradas de dados: uma entrada para o sensor de solo (TerraSen) e outra entrada para ligar o caudalímetro.

O sensor de solo monitorizou a humidade e a temperatura do solo até 50 cm de profundidade, dividindo as leituras em cinco camadas de 10 cm. O acompanhamento da humidade e temperatura do solo foi efetuado através da CropScope App e as leituras eram atualizadas de hora a hora.

A CropScope App também possibilitou a consulta do volume de água aplicado na irrigação (m^3/ha), valores e imagens do Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI) e permitiu receber alertas de doenças, como a *Botrytis Cinerea*, *Phytophthora infestans* e *Alternaria Solani*.

4.8. Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada através da ferramenta de análise de dados do programa *Microsoft Excel*. Inicialmente, verificou-se a homogeneidade das variâncias com recurso ao teste *F* e posteriormente, com base nos resultados, procedeu-se à aplicação do teste *t de Student* para comparação de médias entre o polímero X e a testemunha, selecionando a abordagem correspondente à igualdade ou desigualdade das variâncias, conforme aplicável. Nas conclusões adotou-se um nível de significância de $\alpha=5\%$.

5. Resultados e discussão

5.1. Desenvolvimento e crescimento das plantas

A avaliação do desenvolvimento das plantas teve por base as medições de largura e altura das plantas aos 40, 60, 80 e 100 DAP. A **Fig. 26** representa a evolução da largura das plantas (cm) ao longo do ciclo vegetativo e é possível observar as diferentes fases de desenvolvimento do tomateiro.

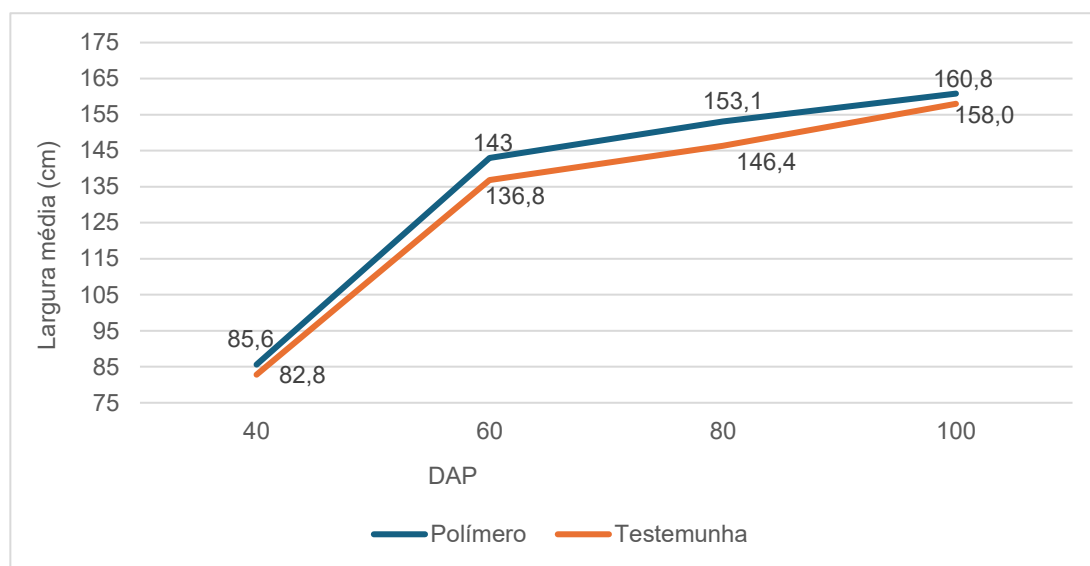


Figura 26 - Evolução da largura (cm) das plantas de ambos os tratamentos aos 40, 60, 80 e 100 DAP.

Entre os 40 e os 60 DAP ocorreu a fase de maior desenvolvimento vegetativo, correspondendo à fase II (Torres et al., 2015), sendo que o grupo do polímero X alcançou 143 cm e o grupo da testemunha 136,8 cm. Segundo (Torres et al., 2015), durante esta fase as plantas podem alcançar 80-85% do coberto vegetal e perante os valores obtidos, pode afirmar-se que no final da fase II (60 dias) o grupo do polímero X alcançou 88,9% do coberto vegetal e o grupo da testemunha 86,5% do coberto vegetal. Os resultados sugerem que o grupo do polímero X apresentou valores médios superiores em comparação com o grupo da testemunha, indicando que a presença do polímero X pode ter contribuído para um crescimento vegetativo mais elevado, possivelmente devido à sua capacidade de retenção de água no solo e à sua maior predisposição para disponibilizar água e nutrientes essenciais para o crescimento.

A fase de desenvolvimento III engloba o espaço de tempo entre os 60 e 80 DAP. Analisando a **Fig. 26** observa-se que durante esta fase a taxa de desenvolvimento diminuiu para ambos os tratamentos, porém as plantas do grupo do polímero X continuaram a apresentar uma largura superior (153,1 cm) quando comparadas com o grupo da testemunha (146,4 cm), alcançando respetivamente 95,2% e 92,7% do coberto vegetal. Estas diferenças entre grupos de tratamento podem indicar que o polímero X proporcionou

melhores condições durante o período crítico de desenvolvimento e formação dos frutos. Aos 100 DAP decorre a fase IV do desenvolvimento vegetativo, esta fase destaca-se pelo início da maturação dos frutos. É possível verificar uma estabilização do desenvolvimento das plantas em largura e pode sugerir que o polímero parece ter um impacto menos pronunciado do que nas fases II e III. Verificou-se uma redução nas diferenças entre os dois grupos, no entanto, o polímero apresentou valores médios superiores (160,8 cm) comparativamente à testemunha (158 cm).

De modo geral, verificou-se que as medições realizadas aos 40, 60, 80 e 100 DAP demonstraram que a largura das plantas no grupo do polímero X foi consistentemente superior, quando comparado com o grupo da testemunha, evidenciando diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-value} < 0,05$) entre os tratamentos ([Anexo IV](#)).

A mesma tendência pode observar-se na **Fig. 27**, que ilustra a evolução da altura das plantas (cm) aos 40, 60, 80 e 100 DAP. De igual modo, o progresso da altura das plantas é demonstrativo das distintas fases de desenvolvimento do ciclo vegetativo do tomateiro.

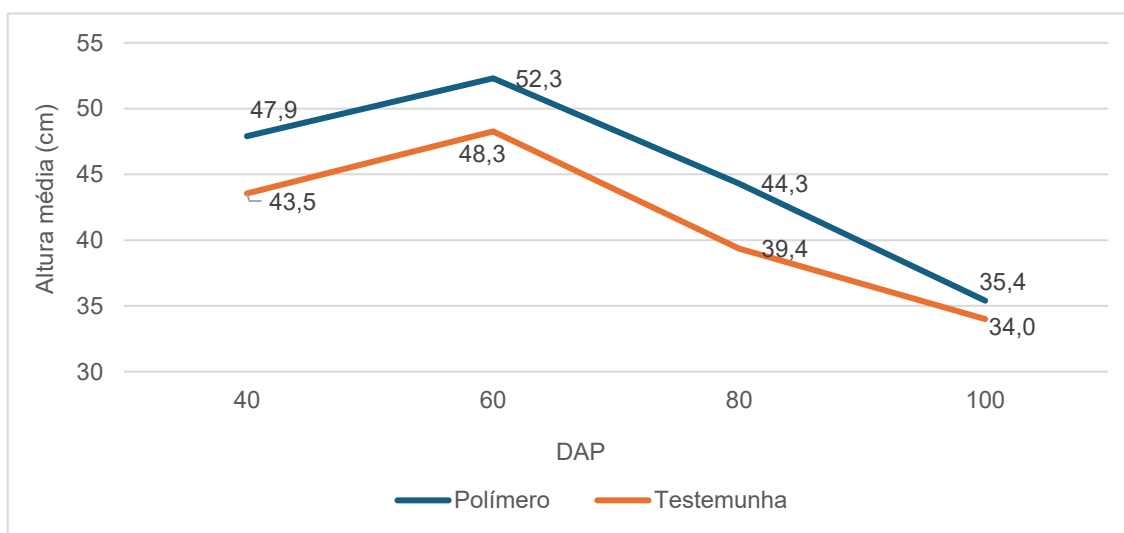


Figura 27 – Evolução da altura (cm) das plantas de ambos os tratamentos aos 40, 60, 80 e 100 DAP.

Aos 60 DAP foi alcançado o término da fase de crescimento rápido (fase de desenvolvimento II) e simultaneamente verificou-se um desenvolvimento considerável na altura das plantas, com o grupo do polímero X a atingir 52,3 cm e o grupo da testemunha 48,3 cm. Os resultados obtidos evidenciaram a influência do polímero X durante o pico de desenvolvimento vegetativo, assegurando condições favoráveis para as plantas.

Após os 60 DAP verificou-se que devido ao peso dos frutos as plantas tenderam a acamar em ambos os grupos.

Constatou-se que as diferenças de altura das plantas no grupo do polímero X são estatisticamente significativas ($p\text{-value} < 0,05$) comparativamente ao grupo da testemunha,

mostrando consistentemente valores superiores ao longo de todo o ciclo vegetativo ([Anexo V](#)).

As plantas do grupo do polímero apresentaram um desenvolvimento vegetativo mais vigoroso do que as plantas do grupo da testemunha em todas as fases do desenvolvimento do ciclo vegetativo. Estes resultados vão ao encontro das evidências constatadas por Saha et al. (2020) e Mostafa et al. (2018), que afirmam que a aplicação de polímeros superabsorventes favorece o desenvolvimento das plantas, mais concretamente a parte aérea.

Relacionando o desenvolvimento das plantas e a biomassa verde fresca quantificada no *shaking test*, pôde observar-se que, em média, o peso da massa verde foi superior no grupo do polímero relativamente ao grupo da testemunha (**Quadro 2**), contudo as diferenças entre os tratamentos não são estatisticamente significativas ($p\text{-value} > 0,05$).

Quadro 2 - Quantificação da biomassa verde (Kg/3plantas) no *shaking test*.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média (kg)	2,456	2,089
Desvio Padrão (kg)	0,701	0,496
Nº de amostras	9	9
Erro Padrão (kg)	0,234	0,165
Média $\pm$ EP (kg)	$2,456 \pm 0,234$	$2,089 \pm 0,165$
Estatística T	1,281	
p-value	0,218	

Os resultados obtidos estão em concordância com os resultados encontrados nos estudos desenvolvidos por Cerasola et al. (2022), que indicaram que a aplicação do polímero não afetou significativamente a produção de biomassa vegetal fresca.

A **Fig. 28** é demonstrativa dos valores de NDVI e mostra a evolução da densidade da vegetação e da saúde da cultura, para ambos os grupos em estudo: polímero X (linha rosa) e testemunha (linha roxa).

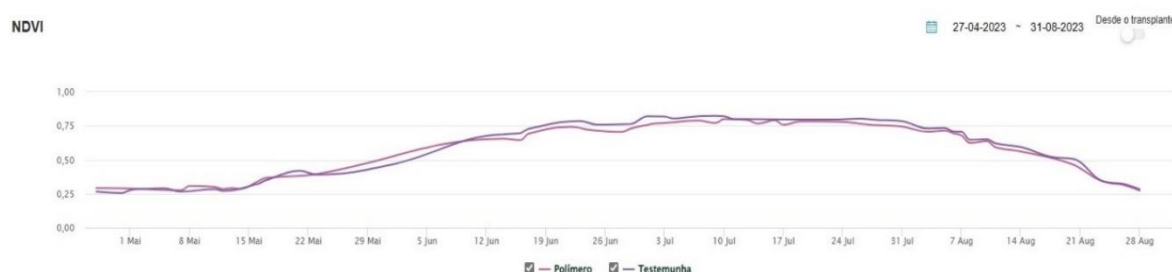


Figura 28 - Evolução do NDVI durante o ciclo da cultura.

Quando se compara os valores de NDVI com os gráficos de altura e largura das plantas, foi possível constatar que durante a fase II de crescimento rápido, o NDVI

aumentou continuamente em ambos os grupos, refletindo um desenvolvimento vigoroso das plantas e um aumento da área foliar. Estes resultados corroboraram os valores obtidos através da análise da largura e altura das plantas, deste modo, sugerem que existiu um desenvolvimento significativo das plantas durante esta fase, promovido pela aplicação do polímero, refletindo-se no aumento dos valores de NDVI.

A partir dos 40 DAP (06/06), o NDVI teve uma menor evolução quando comparado à fase anterior, sendo consistente com a desaceleração do crescimento observado nos gráficos de largura e altura das plantas. Durante a fase III de desenvolvimento, entre 26/06 e 16/07 os valores de NDVI foram sempre superiores na testemunha, porém essas diferenças foram mínimas. Os valores de NDVI obtidos durante esta fase são um indicador da saúde e da densidade das plantas.

Aos 100 DAP (05/08) verificou-se um decréscimo dos valores de NDVI, refletindo a senescência natural das plantas e a redução da atividade fotossintética. Esta tendência acompanhou a diminuição verificada nos gráficos de altura e a estabilização da largura das plantas. A maior redução dos valores de NDVI aconteceu nas últimas duas semanas do ciclo vegetativo, dado que as plantas perderam biomassa foliar e canalizaram os nutrientes para a fase de maturação dos frutos.

De forma generalizada, as diferenças no NDVI entre os tratamentos foram mínimas ao longo de todo o ciclo cultural. O polímero apenas apresentou valores ligeiramente superiores durante a fase II (floração e desenvolvimento vegetativo), sendo consistente com os gráficos de altura e largura, onde o polímero demonstrou ter uma maior influência no desenvolvimento das plantas.

5.2. Amostras foliares

A **Fig. 29** apresenta as concentrações de azoto (ppm) em função do tempo (DAP) para os dois grupos. Observou-se que durante todo o ciclo cultural as concentrações de azoto foram superiores no grupo do polímero relativamente à testemunha, verificando-se que aos 40 e aos 60 DAP as diferenças são estatisticamente significativas ($p\text{-value} < 0,05$) ([Anexo VI](#)).

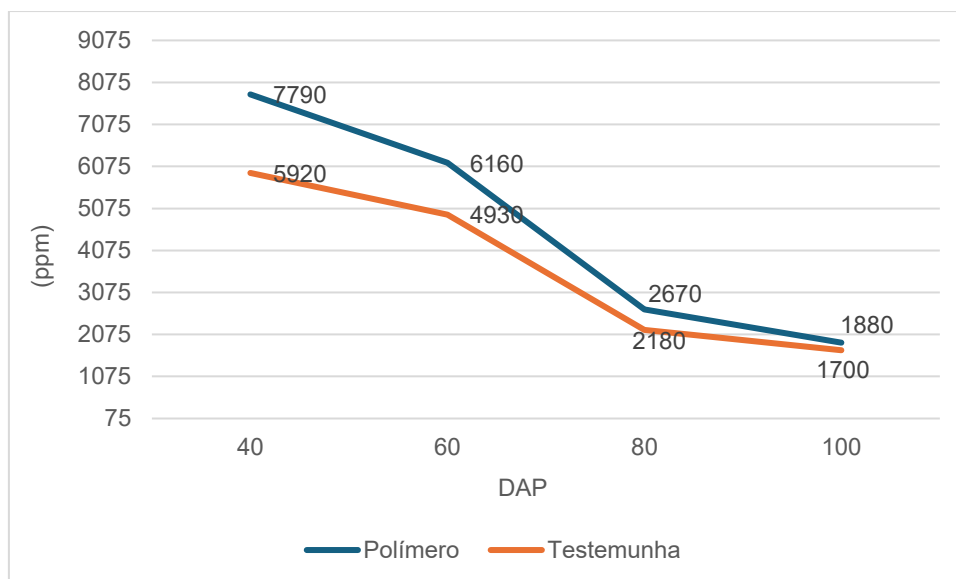


Figura 29 - Evolução da concentração de azoto (ppm) durante o ciclo vegetativo.

O azoto teve um papel crucial durante a fase de desenvolvimento rápido (fase II), entre os 40 e os 60 DAP, período em que se dá o maior desenvolvimento vegetativo. Após esta fase ocorreu uma redução da concentração de azoto em ambos os tratamentos até ao final do ciclo, convergindo para valores semelhantes aos 100 DAP. Esta redução está relacionada com o término da fase II e com o início da fase de desenvolvimento e crescimento dos frutos, sendo que nesta última o azoto não possui um papel tão relevante.

A **Fig. 30** mostra a evolução das concentrações de potássio em função do tempo (DAP).

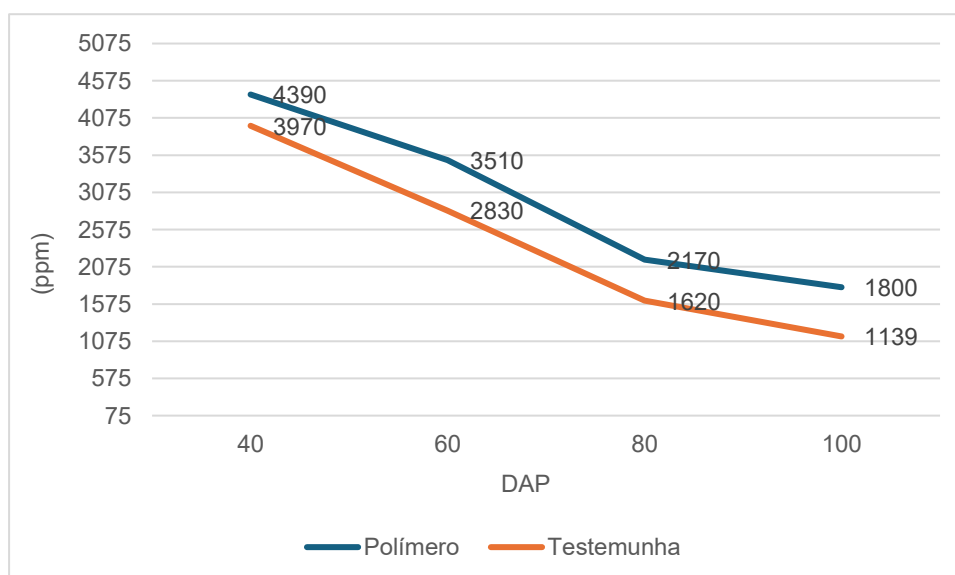


Figura 30 - Evolução da concentração de potássio (ppm) ao longo do ciclo vegetativo.

Constatou-se que as concentrações de potássio (ppm) no grupo do polímero X foram ao longo de todo o ciclo vegetativo superiores comparativamente ao grupo da

testemunha, apresentando diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-value}<0,05$) aos 40 e 60 DAP ([Anexo VII](#)).

O potássio contribuiu para o desenvolvimento das plantas, estando relacionado com a abertura e fecho dos estomas e com o processo de fotossíntese, sendo essencial na fase de crescimento rápido (fase II).

A **Fig. 31** reflete a evolução da concentração de cálcio foliar durante o ciclo vegetativo.

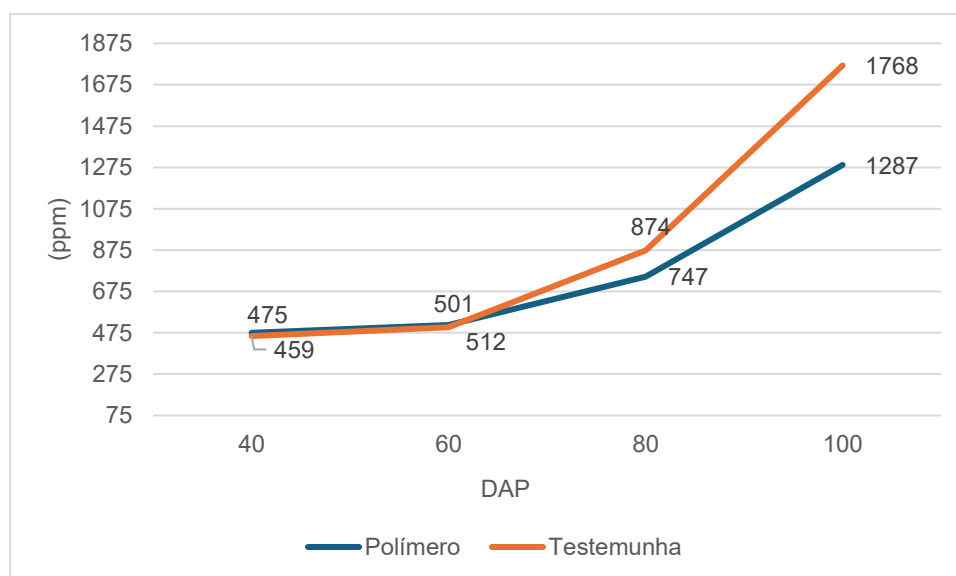


Figura 31 - Evolução da concentração de cálcio (ppm) ao longo do ciclo vegetativo.

Foi possível verificar que aos 40, 60 e 80 DAP as diferenças entre concentrações alcançadas entre ambos os grupos não são estatisticamente significativas ($p\text{-value}>0,05$), porém aos 100 DAP constatou-se que a concentração de cálcio foi mais elevada no grupo da testemunha, mostrando diferenças estatisticamente significativa ($p\text{-value}<0,05$) ([Anexo VIII](#)).

A menor concentração de cálcio no grupo do polímero X pode estar relacionada com a maior concentração de potássio, tendo em conta que o cálcio é um ião divalente e apresenta uma relação inversa entre a valência iônica e a captação iônica. Portanto, elevadas concentrações de iões monovalentes como o potássio (K^+) podem ter um efeito adverso na absorção de cálcio (Hagassou et al., 2019).

De modo geral, verificou-se que os níveis de azoto e de potássio apresentaram concentrações mais elevadas no grupo do polímero X durante todo o ciclo vegetativo. Neste caso, pode afirmar-se que o mecanismo de intumescimento do polímero que permite o encapsulamento de água e nutrientes junto à zona radicular, resultou em menores perdas em percolação e, pelo contrário, possibilitou um maior fornecimento de água e nutrientes às plantas.

Assim, o aumento de água e nutrientes junto da zona radicular foi influenciado positivamente pela aplicação do polímero X no solo e pela capacidade de expansão da rede polimérica, atraindo iões positivos para o interior da sua estrutura, desencadeando um aumento da capacidade de troca catiónica. Os resultados estão de acordo com os estudos levados a cabo por Abrisham et al. (2018) e Mahgoub (2020) que afirmam que a maior disponibilidade de nutrientes para as plantas é influenciada de forma positiva pelo aumento da troca catiónica impulsionada pela ação do polímero, levando à atração de iões positivos para a sua matriz tridimensional.

Relativamente à concentração de cálcio pode afirmar-se que esta não mostrou a mesma tendência do azoto e do potássio, quando comparados ambos os tratamentos. Tendo em consideração que a concentração de cálcio é essencial para a prevenção de frutos com podridão apical, é fundamental que se aplique logo numa fase inicial do ciclo, para que este fique disponível para as plantas nos períodos críticos de vingamento e desenvolvimento dos frutos, porque a sua absorção pelas raízes encontra-se dificultada pela competição com outros iões positivos, mas também pelo facto do cálcio apenas de movimentar no xilema das plantas, podendo a sua concentração ser influenciada pelas perdas de água no solo, temperatura, défice de vapor atmosférico e atividade fotossintética (Hagassou et al., 2019).

5.3. Taxa de exsudação das raízes das plantas

O peso dos algodões refletiu a taxa de exsudação das raízes. Os resultados do *root mass test* demonstraram que os pesos dos algodões correspondentes ao grupo do polímero X tiveram uma média ligeiramente superior do que os algodões do grupo da testemunha (**Quadro 3**). Todavia, verificou-se que as diferenças de médias do peso dos algodões entre os dois grupos não são estatisticamente significativas ($p\text{-value} > 0,05$).

Quadro 3 - Média de pesos (g) dos algodões de ambos os grupos resultantes do *Root Mass Test*.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média (g)	7,942	7,255
Desvio Padrão (g)	2,214	2,060
Nº de amostras	6	6
Erro Padrão (g)	0,904	0,841
Média $\pm$ EP (g)	7,942 $\pm$ 0,904	7,255 $\pm$ 0,841
Estatística T	0,556	
p-value	0,590	

Uma vez que não se observaram diferenças estatisticamente significativas na taxa de exsudação entre os tratamentos, que depende diretamente do peso radicular, pode concluir-se que a aplicação do polímero X não influenciou o desenvolvimento radicular das plantas.

5.4. Produtividade

A avaliação da produtividade de cada grupo (polímero X e testemunha) foi efetuada através de três metodologias: *shaking test*, processo de colheita diferenciado de galeras e pelo mapeamento da máquina colhedora.

5.4.1. Shaking Test

A **Fig. 32** é demonstrativa do número total de frutos contabilizado em cada categoria, especificamente, tomate A (vermelho), tomate B (laranja), tomate C (verde), tomate com podridão apical e tomate esmagado.

Constatou-se que o grupo do polímero X apresentou um número total de frutos de 2934 frutos e o grupo da testemunha de 2423 frutos, tendo o grupo do polímero X apresentado, no total, mais 511 frutos do que o grupo da testemunha. De modo geral, o grupo do polímero X apresentou maior quantidade de número de frutos em todas as categorias analisadas comparativamente à testemunha.

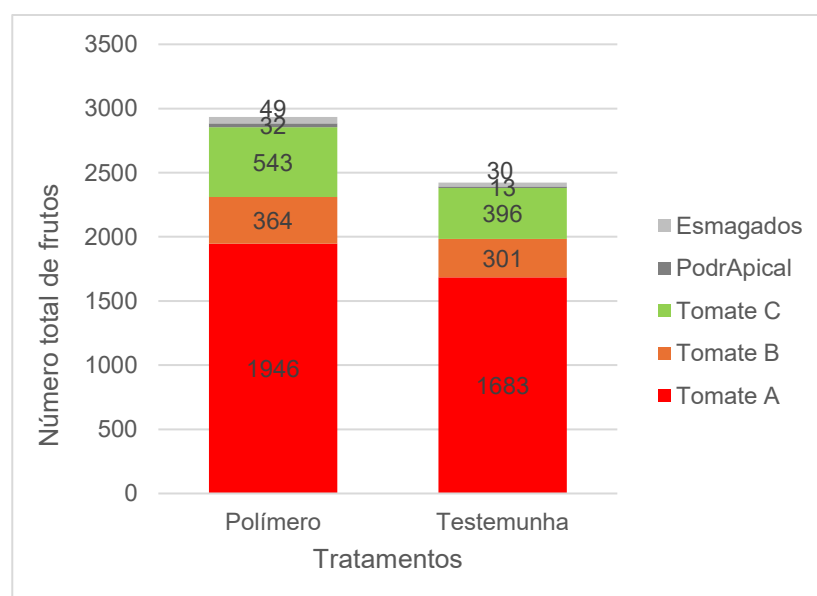


Figura 32 - Classificação dos frutos por modalidade (*shaking test*).

É fundamental analisar a distribuição percentual de cada categoria para assegurar uma comparação equitativa entre os tratamentos. A **Fig. 33** indica as percentagens obtidas em cada categoria de frutos.

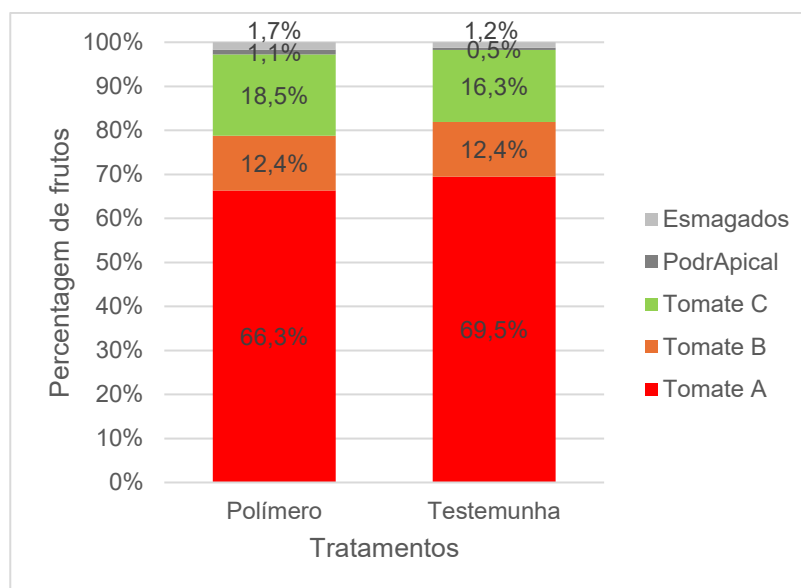


Figura 33 - Classificação dos frutos por modalidade (expresso em percentagem).

Relativamente aos frutos vermelhos (tomate A), pode afirmar-se que o grupo da testemunha apresentou 69,5% de tomate A e o grupo do polímero X 66,3%, ou seja, apesar de a testemunha ter produzido menos frutos vermelhos que o polímero X (**Fig. 32**), a proporção de frutos vermelhos foi maior na testemunha do que no polímero X. Todavia, as diferenças de médias do número de frutos vermelhos não mostraram ser significativas ($p\text{-value} > 0,05$) ([Anexo IX](#)).

A percentagem de tomate laranja (tomate B) mostrou-se igual em ambos os tratamentos, perfazendo 12,4% do número total de frutos. Estatisticamente não existiram diferenças significativas quanto ao número de frutos de categoria B ($p\text{-value} > 0,05$) ([Anexo X](#)).

Quanto ao tomate verde (tomate C) registou-se uma percentagem de frutos superior no grupo do polímero X comparativamente à testemunha, respetivamente, 18,5% e 16,3%, mas as diferenças não foram significativas ($p\text{-value} > 0,05$) ([Anexo XI](#)). A percentagem de tomate verde é indicadora do estado de maturação do campo, e os resultados alcançados sugerem que o grupo do polímero X tinha menor grau de maturação que o grupo da testemunha.

A percentagem de frutos com podridão apical (BER) foi superior no grupo do polímero X (1,1%) quando comparada com o grupo da testemunha (0,5%), porém as diferenças entre grupos não mostraram ser significativas ($p\text{-value} > 0,05$) ([Anexo XII](#)). Este facto pode estar relacionado com a menor concentração de cálcio (ppm) aos 100 DAP no

grupo do polímero X, dado que aos 40, 60 e 80 DAP as diferenças de cálcio entre os tratamentos não mostraram ser significativas. Portanto, uma menor concentração de cálcio aliada a uma maior quantidade de frutos no grupo do polímero, pode ter originado uma percentagem superior de frutos com podridão apical.

A proporção de frutos esmagados foi superior no polímero comparativamente à testemunha, especificamente, 1,7% e 1,2%, todavia as diferenças não foram significativas ($p\text{-value} > 0,05$) ([Anexo XIII](#)).

O **Quadro 4** mostra o peso médio dos frutos expressos em gramas (tomate A). Os valores obtidos indicaram que os frutos do grupo do polímero X apresentaram um peso médio de 65 g e o grupo da testemunha 69,7 g.

Quadro 4 - Peso médio dos frutos (tomate de categoria A) (expresso em g/fruto).

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	65,0	69,7
Desvio padrão	7,600	5,358
Nº de amostras	9	9
Erro Padrão	2,533	1,786
Média $\pm$ EP	65 $\pm$ 2,533	69,7 $\pm$ 1,786
Estatística T	-1,513	
p-value	0,150	

A diferença do peso médio dos frutos entre os tratamentos não demonstrou ser estatisticamente significativa ($p\text{-value} > 0,05$), portanto, pode afirmar-se que a aplicação do polímero não interferiu com o peso dos frutos.

Possivelmente, o menor peso médio dos frutos do grupo do polímero pode estar relacionado com a maior quantidade de frutos que as plantas deste grupo possuíam, podendo significar que um maior número de frutos por planta pode refletir-se em frutos mais pequenos e com menor peso.

O cálculo do rendimento comercial teve por base a soma das categorias A e B multiplicada pela densidade de plantação em função das três plantas analisadas. O **Quadro 5** representa o rendimento comercial (t/ha) dos dois grupos: polímero X e testemunha.

Quadro 5 - Comparação do rendimento comercializável entre tratamentos, obtido no *shaking test* (expresso em t/ha).

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	166,1	152,3
Desvio padrão	22,545	25,431
Nº de amostras	9	9
Erro Padrão	7,515	8,477
Média ± EP	166,1 ± 7,515	152,9 ± 8,477
Estatística T	1,217	
p-value	0,241	

Perante os resultados obtidos, observou-se que o grupo do polímero X teve uma produtividade média de 166,1 t/ha e o grupo da testemunha apresentou uma produtividade média de 152,3 t/ha. A diferença observada entre ambos os grupos, demonstra que existiu um acréscimo de produtividade de aproximadamente 13,8 t/ha no grupo com polímero em comparação com o grupo da testemunha. O teste *t student* revelou que as diferenças entre as médias de rendimento dos dois grupos não foram significativas ($p\text{-value} > 0,05$).

5.4.2. Processo de colheita diferenciado de galeras

No total foram colhidas seis galeras de forma diferenciada: três galeras de tomate do grupo do polímero X e três galeras de tomate do grupo da testemunha.

O **Quadro 6** mostra a comparação das médias da distância percorrida pela máquina para colher as respetivas galeras.

Quadro 6 - Comparação das distâncias médias percorridas (m) entre tratamentos.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	1232,8	1315,4
Desvio Padrão	64,220	182,140
Nº de amostras	3	3
Erro Padrão	37,078	105,158
Média ± EP	1232,8 ± 37,078	1315,4 ± 105,158
Estatística T	-0,741	
p-value	0,500	

Verificou-se que no grupo do polímero X percorreu-se em média 1232,8 m e no grupo da testemunha 1315,4 m para encher uma galera de tomate. Os resultados sugerem que a produtividade foi superior no grupo do polímero X, dado que foi necessário percorrer

uma distância inferior, porém a análise estatística demonstrou que as diferenças entre as médias não foram significativas ($p\text{-value}>0,05$).

O **Quadro 7** representa a análise estatística da comparação da taxa de depreciação média entre ambos os tratamentos.

Quadro 7 – Comparação da taxa de depreciação média (%) entre tratamentos.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	2	1
Desvio Padrão	0	1
Nº de amostras	3	3
Erro Padrão	0	0,577
Média $\pm$ EP	2 ± 0	$1 \pm 0,577$
Estatística T	1,732	
p-value	0,225	

A taxa de depreciação média do polímero foi de 2% e da testemunha foi de 1%, pelo que as diferenças entre os grupos não foram estatisticamente significativas ($p\text{-value}>0,05$). As **Fig. 34 e 35** foram obtidas no final do processo de classificação e ilustram o processo de classificação do tomate de ambos os tratamentos e refletem as taxas de depreciação de cada categoria.



Figura 34 - Classificação da matéria-prima do grupo do polímero X.



Figura 35 - Classificações da matéria-prima do grupo da testemunha.

O facto de o grupo do polímero X ter apresentado uma taxa de depreciação superior ao grupo da testemunha vai ao encontro dos resultados obtidos no *shaking test*, onde o polímero teve maior número de frutos verdes, esmagados e com podridão apical.

Quanto à produtividade (t/ha) deste método, o grupo do polímero X alcançou uma média de 154,6 t/ha e o grupo da testemunha 152,3 t/ha, como se pode verificar no **Quadro 8**.

Quadro 8 - Comparação de produtividade média (t/ha) entre tratamentos.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	154,6	152,3
Desvio Padrão	11,456	20,005
Nº de amostras	3	3
Erro Padrão	6,614	11,550
Média ± EP	154,6 ± 6,614	152,3 ± 11,550
Estatística T	0,171	
p-value	0,872	

Embora a produtividade do grupo do polímero X se tenha mostrado superior à da testemunha, a diferença entre as médias de ambos os grupos não foi estatisticamente significativa ($p\text{-value} > 0,05$). O facto do grupo do polímero X ter apresentado, em média, mais 2,3 t/ha comparativamente à testemunha, não é suficiente para afirmar que o polímero teve efeito positivo sobre a produtividade.

5.4.3. Mapeamento da máquina colhedora

A **Fig. 36** mostra os resultados de produtividade de cada grupo obtido através da máquina. Para a diferenciação de cor dos polígonos na figura foi utilizada uma média aproximada resultante das médias de produtividade de cada grupo (140 t/ha). A vermelho foram assinalados os polígonos com valores de produção até 140 t/ha e a verde foram marcados os polígonos com médias de produção superiores a 140 t/ha. As linhas definidas a branco entre os polígonos representam as linhas que foram colhidas pela outra máquina.

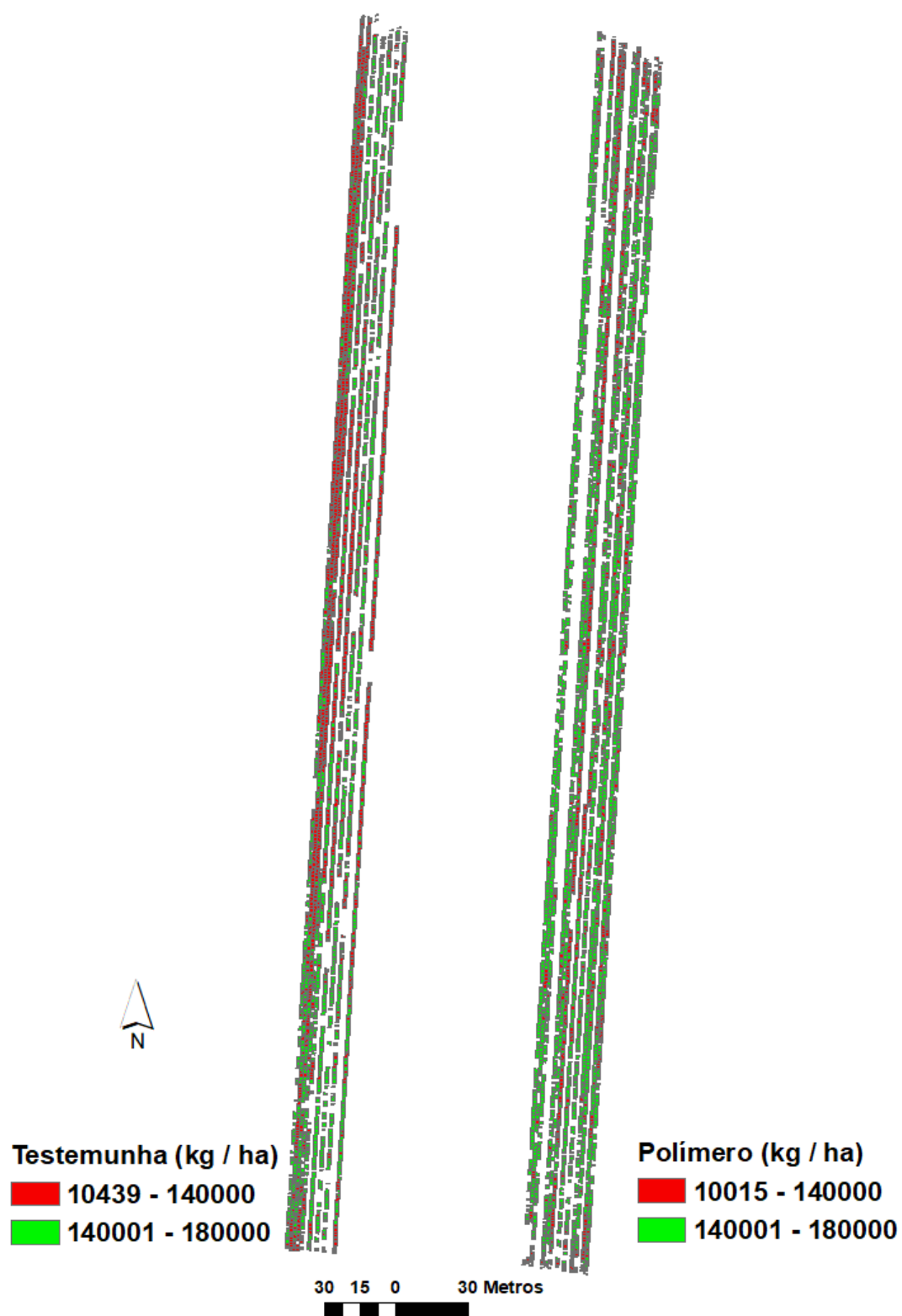


Figura 36 - Produtividade (kg/ha) do mapeamento da máquina colhedora.

Através da imagem foi possível constatar que existiram maior quantidade de polígonos verdes no grupo do polímero do que no grupo da testemunha, pressupondo a existência de uma produtividade superior no grupo do polímero em comparação à testemunha. Denotou-se que no grupo da testemunha, do centro da parcela para norte, a produtividade foi de modo geral, inferior a 140 t/ha.

Por se ter verificado que os resultados do mapeamento da máquina colhedora não cumpriram com todos os pressupostos do teste *t student*, não se efetuou a comparação de médias entre os tratamentos, logo não é possível afirmar se as diferenças são estatisticamente significativas entre os grupos. Assim, através do *shapefile* foram extraídos os resultados para *Microsoft Excel* e foi efetuada uma estatística descritiva (**Quadro 9**).

Quadro 9 - Estatística descritiva dos dados obtidos através do mapeamento da máquina colhedora, para ambos os grupos, expressa em t/ha.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	150,5	136,1
Erro-padrão	0,319	0,433
Desvio-padrão	23,6	28,1
Variância da amostra	5.577,6	7.880,9
Soma	82.502,9	57.156,3
Contagem	5481	4200
Nível de confiança (95,0%)	0,625	0,849

Verificou-se que o grupo do polímero X registou uma média de produtividade de 150,5 t/ha, enquanto o grupo da testemunha obteve 136,1 t/ha. A menor variabilidade dos dados no grupo do polímero X indicou que existiu maior consistência nos resultados de produtividade. Apesar dos dados terem indicado uma diferença entre as médias de produtividade dos dois grupos, de 14,4 t/ha, não se pôde afirmar que essa diferença tenha resultado da aplicação do polímero X no solo, porque não foi possível atestar se as diferenças foram estatisticamente significativas.

O **Quadro 10** resume os valores de produtividade alcançado através de cada metodologia, em cada grupo, assim como as diferenças entre os dois grupos estudados, expressas em toneladas e em percentagem.

Quadro 10 - Resultados de produtividade (t/ha) obtidos através das diferentes metodologias, em ambos os grupos.

	<i>Shaking Test</i>	Colheita diferenciada de galeras	Mapeamento da máquina
Polímero	166,1	154,6	150,5
Testemunha	152,3	152,3	136,1
Diferença (t/ha)	13,8	2,3	14,4

Nos três testes efetuados a fim de avaliar a produtividade dos dois grupos em estudo, constatou-se que apesar das diferenças entre as médias dos grupos não se ter revelado significativa, o grupo do polímero X registou em todos os testes, produtividades médias superiores ao grupo da testemunha. O mapeamento da colheita evidenciou o maior acréscimo na produtividade (+14,4 t/ha), seguido do *shaking test* (+13,8 t/ha) e da colheita diferenciada de galeras (+2,3 t/ha).

Os resultados do polímero X apresentaram consistência nos ganhos de produtividade em todos os métodos de avaliação, contudo a diferença das médias não se mostrou estatisticamente significativa, logo não se pode afirmar que os aumentos de produtividade estão diretamente relacionados com a aplicação do polímero X. Os resultados apenas sugerem que a aplicação do polímero X, possivelmente pode contribuir para o aumento da produção.

A avaliação efetuada através do *shaking test* revelou um aumento do número total de frutos no grupo do polímero X, sendo esse acréscimo de 21,09% quando comparado com o grupo da testemunha. Neste sentido, os resultados obtidos são corroborados por Cerasola et al. (2022) e por Mahgoub (2020) ao referirem um aumento do número total de frutos nos seus respetivos estudos.

Além do número total de frutos ter sido superior, torna-se importante referir que também existiu um aumento do número de frutos comercializáveis (+16,4%), com diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$) ([Anexo XIV](#)), e um aumento do rendimento comercializável (+9,1%). Os resultados obtidos estão de acordo com Cerasola et al. (2022), que também comprovaram um aumento do número de frutos comercializáveis (+17,2%) e um aumento do rendimento comercializável (+16,4%).

As temperaturas do ar também favoreceram as elevadas produtividades, principalmente as temperaturas noturnas. A **Fig. 37** mostra as temperaturas registadas entre os 40 e os 60 DAP (06/06 e 26/06) que correspondem à fase II, onde ocorre a floração e o vingamento dos frutos.

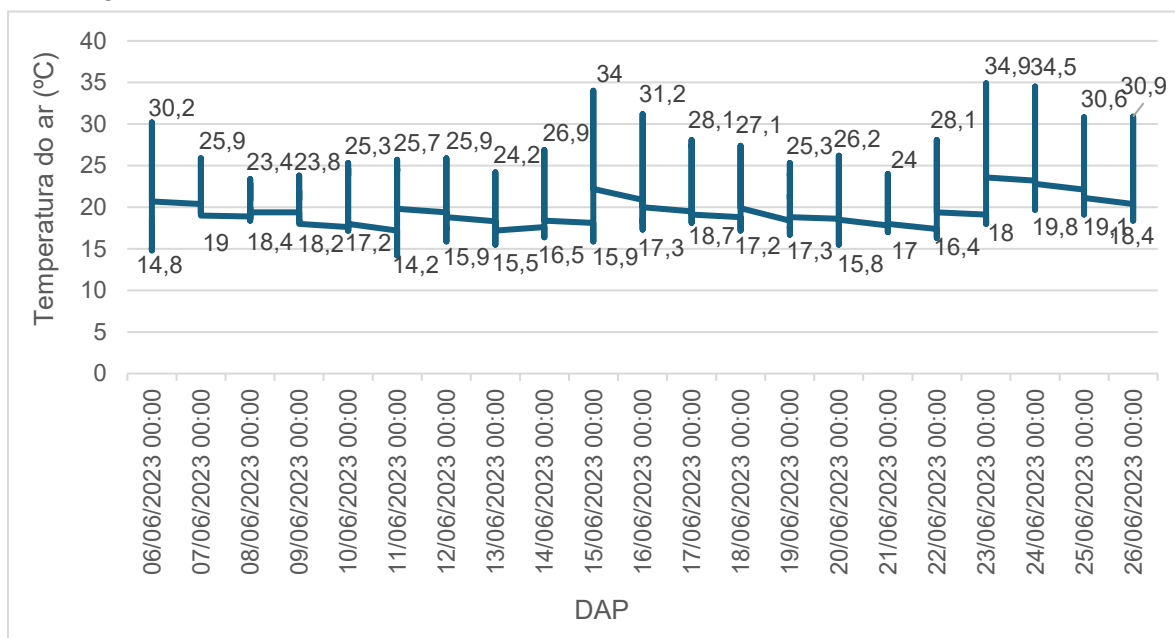


Figura 37 - Temperaturas registadas entre os 40 e 60 DAP.

Durante esta fase crítica, foi possível observar que a temperatura mínima noturna foi de 14,2°C e a máxima diurna de 34,9°C. As amplitudes térmicas registaram uma média de 10,7°C, pelo que se pode constatar que não se verificaram elevadas amplitudes térmicas. As temperaturas registadas estabeleceram-se dentro dos parâmetros definidos por Nicola et al. (2009) que afirmam que temperaturas noturnas abaixo dos 10°C e temperaturas diurnas acima dos 38°C causam danos nos tecidos vegetais, podem influenciar negativamente o vingamento dos frutos e as elevadas amplitudes térmicas podem comprometer a capacidade de frutificação. O facto de se ter verificado uma baixa amplitude térmica durante a fase II revelou-se determinante para um vingamento ideal dos frutos.

(Almeida, 2006; Nicola et al., 2009) afirmaram que a capacidade de frutificação pode ficar comprometida quando se registam temperaturas acima dos 35°C, porque são prejudiciais à qualidade do pólen e acima dos 37°C a germinação pode ficar inibida. Neste estudo, verificou-se que a germinação ocorreu em condições ótimas de temperatura. Este conjunto de fatores contribuiu de forma relevante para assegurar ótimas condições para o vingamento dos frutos e posteriormente conduziu a um aumento de produtividade.

Relativamente ao peso dos frutos, Mahgoub (2020) relatou um aumento do peso dos frutos, e contrariamente, Cerasola et al. (2022) afirmaram que a aplicação de polímero

não afetou significativamente o peso dos frutos. Os resultados deste estudo estão de acordo com os resultados alcançados por Cerasola et al. (2022), dado que a diferença entre os pesos médios dos frutos de ambos os grupos, não demonstrou ser significativa ($p\text{-value}>0,05$), provando que a aplicação do polímero não afetou o peso dos frutos.

Mostafa et al. (2018) registraram um aumento do amadurecimento dos frutos, ao contrário do encontrado presente estudo, não se verificou um aumento significativo dos frutos vermelhos (tomate A) e os valores de tomate B foram iguais para ambos os tratamentos. Por outro lado, a maturação dos frutos também está relacionada com a percentagem de tomate verde, ou seja, uma maior percentagem de tomate verde pode indicar uma menor maturação dos frutos. Considerando que o grupo do polímero X apresentou uma percentagem de tomate verde de 18,5% e a testemunha de 16,3%, os resultados apontaram para um grau de maturação inferior no polímero X.

Os resultados alcançados neste estudo permitiram afirmar que, mesmo com a aplicação de um menor volume de água, o grupo do polímero X foi capaz de alcançar produtividades superiores ao grupo da testemunha, realçando que as diferenças entre os grupos nos vários testes efetuados para avaliar a produtividade não revelaram diferenças significativas. Através do seu mecanismo de ação, o polímero X otimizou a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, garantindo uma situação de conforto hídrico, sustentando o seu crescimento e potenciando o seu rendimento máximo produtivo, mesmo numa situação de menor fornecimento de água.

Por fim, importa perceber que os três métodos utilizados para avaliar a produtividade neste ensaio, apresentaram diferenças em termos de abordagem, precisão e suscetibilidade ao erro humano. O *shaking test* é um método totalmente manual que pode ter interferências a vários níveis, principalmente no momento de sacudir os frutos das plantas e na classificação de frutos por cor, especialmente entre frutos com cores limítrofes, como o vermelho e o laranja. A colheita diferenciada de galeras de tomate, provavelmente pode ser o método de avaliação mais realista, mas também possui interferência humana, nomeadamente no momento da classificação do tomate na fábrica e na medição dos metros percorridos pela máquina. Ainda assim, este método de avaliação ao considerar apenas os frutos comercializáveis torna-se mais fiável ao nível da estimação da produtividade. O mapeamento do campo realizado pelos sensores da máquina colhedora, apesar de ser totalmente automatizado e tecnologicamente evoluído, tem associada alguma variabilidade operacional, como por exemplo, a calibração do sistema e a velocidade de colheita. A velocidade de colheita pode influenciar diretamente a contagem de frutos de duas formas: se a velocidade não for a adequada, os frutos podem sobrepor-se no tapete e dificultam não só a contagem, como também a rejeição do tomate verde pelas fotocélulas da máquina e a retirada de frutos verdes e podres pelos operadores que

seguem em cima da colhedora. Por conseguinte, os resultados de produtividade deste método podem ser sobrevalorizados, porque também inclui os frutos não comercializáveis.

Assim sendo, as diferenças de produtividade observadas entre as metodologias estão diretamente relacionadas com as particularidades de cada teste, tanto nos critérios de contagem como na margem de erro associada a cada método.

5.5. Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água de irrigação (EUA) representa a quantidade de produção obtida por unidade de água aplicada durante a rega. Um maior valor do uso eficiente da água significa que a cultura conseguiu otimizar a água disponível e convertê-la de forma mais eficiente em rendimento.

A EUA (t/m^3) foi calculada para ambos os grupos em estudo, através da razão entre a produção de frutos (t/ha) e o volume total de irrigação (m^3/ha), registado em cada caudalímetro.

Embora a plantação tenha sido efetuada a 27 de abril, as sondas apenas foram instaladas a 17 de maio, por isso os registos efetuados refletem os volumes de água aplicados entre 17 de maio a 21 de agosto.

O **Quadro 11** sintetiza os resultados dos diferentes métodos de avaliação da produtividade em função do volume de água aplicado nos dois grupos estudados. A variação relativa é indicativa do aumento da eficiência observado na comparação entre os tratamentos.

Quadro 11 - Resultados da EUA para ambos os tratamentos.

EUA	<i>Shaking Test</i> (t/ha)	Colheita diferenciada de galeras (t/ha)	Mapeamento (t/ha)	Volume de Água (m^3/ha)
Polímero (t/m^3)	0,022	0,021	0,020	7392,1
Testemunha (t/m^3)	0,016	0,016	0,015	9294,4
Variação relativa (%)	37,5	31,25	33,3	20,5

Perante os valores calculados concluiu-se que o grupo do polímero apresentou valores de EUA superiores em todos os métodos de avaliação da produtividade, ou seja, o polímero conseguiu converter cada metro cúbico de água num maior número de frutos em comparação com a testemunha.

A maior EUA foi detetada no *shaking test*, com 37,5%, seguida do mapeamento com 33,3% e, por último, da colheita diferenciada de galeras com 31,25%.

Quanto ao volume total de água aplicado, quantificou-se 7392,1 m³/ha no grupo do polímero e 9294,4 m³/ha no grupo da testemunha, revelando uma redução de água de 20,5% no grupo do polímero X. A redução de água conseguida neste estudo supera a alcançada por Cerasola et al. (2022) (15,8%), porém não atingiu os 25% possíveis de ser obtidos com adição de polímeros superabsorventes.

Os resultados sustentam a eficácia da ação do polímero na conservação de água e no impacto positivo sobre a produtividade, demonstrando que, com um menor volume de água aplicado, conseguiu-se obter aumentos de produtividade em todos os métodos avaliados.

5.5.1. Volume total de água aplicado à cultura

A **Fig. 38** apresenta o volume total de água aplicado em ambos os grupos, com base nos volumes diários acumulados registados pelos respetivos caudalímetros. O grupo do polímero X registou um total de 7392,1 m³/ha e 9294,4 m³/ha durante o ciclo cultural.

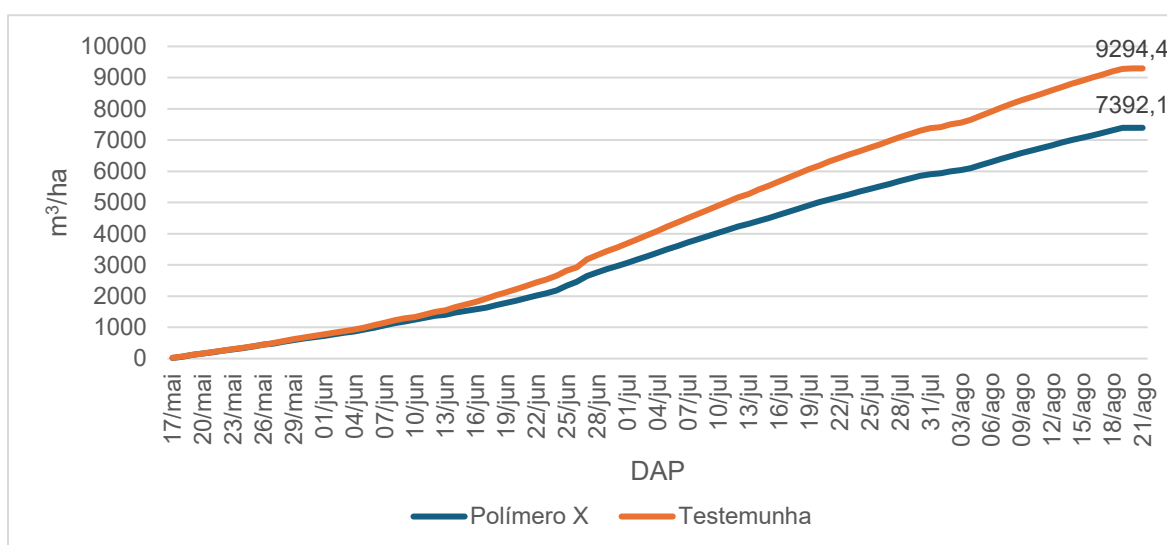


Figura 38 – Evolução cumulativa do volume de água em cada tratamento (m³/ha).

Observando ambas as figuras, verificou-se que existiu uma redução da água de rega de 20,5%, quando comparado o grupo do polímero X com o grupo da testemunha. No entanto, não importa somente frisar que existiu uma redução de água, torna-se importante analisar a quantidade de água que foi aplicada no total. Os valores alcançados em cada caudalímetro contrariam o intervalo definido por Almeida (2006) para um clima mediterrâneo, de 400-600 mm durante o ciclo cultural. O total registado pelo caudalímetro do grupo do polímero X situou-se dentro dos 400-800 mm de água mencionados por Steduto et al. (2012), aplicados desde o transplante até à colheita, contrariamente

verificou-se que o volume aplicado no grupo da testemunha foi mais elevado do que o limite superior definido pelo autor.

Comparando os valores registados em ambos os caudalímetros com a dotação de rega de referência (7050 m³/ha) para um ano seco da Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (2024), verificou-se que o volume de água aplicado no grupo com polímero X foi ligeiramente superior à dotação recomendada, enquanto o volume aplicado no grupo da testemunha foi substancialmente superior, evidenciando que o uso do polímero X permitiu uma redução no consumo de água.

Os valores obtidos pelos caudalímetros confirmaram que a cultura do tomate é particularmente exigente em água, tanto ao nível do consumo como do uso intensivo da água durante todo o ciclo, como afirmaram (Carucci et al., 2023). Francaviglia & Di Bene (2019) destacaram nos seus estudos que as elevadas necessidades hídricas da cultura relacionam-se com a conjugação do défice hídrico no solo com as altas temperaturas e a grande disparidade entre a precipitação e a evapotranspiração.

A exigência em água durante todo o ciclo cultural relacionou-se com a maximização da produtividade e com a sensibilidade ao stress hídrico, tal como atestaram (Francaviglia & Di Bene, 2019; Zhang et al., 2017).

A irrigação tem como principal papel suprir as diferenças das necessidades hídricas da cultura e a precipitação efetiva, como afirmou Allen et al. (1998), isto é, $ET_c - Precipitação$. Para que fosse possível efetuar uma análise criteriosa acerca da rega aplicada em cada grupo em função das necessidades hídricas da cultura, foi essencial calcular a ET_c diária. O cálculo da ET_c teve por base a ET_0 registada pela estação meteorológica e o coeficiente cultural (K_c) para cada fase de desenvolvimento da cultura do tomate, instalada na região do Mediterrâneo e com plantação entre abril/maio definidos por Allen et al. (1998), mais especificamente, $K_{c\ ini} = 0,6$, $K_{c\ med} = 1,15$ e $K_{c\ fin} = 0,70/0,90$.

Abaixo, a **Fig. 39** demonstra a relação das necessidades hídricas da cultura (mm/dia) com o volume de água aplicado em cada grupo (mm).

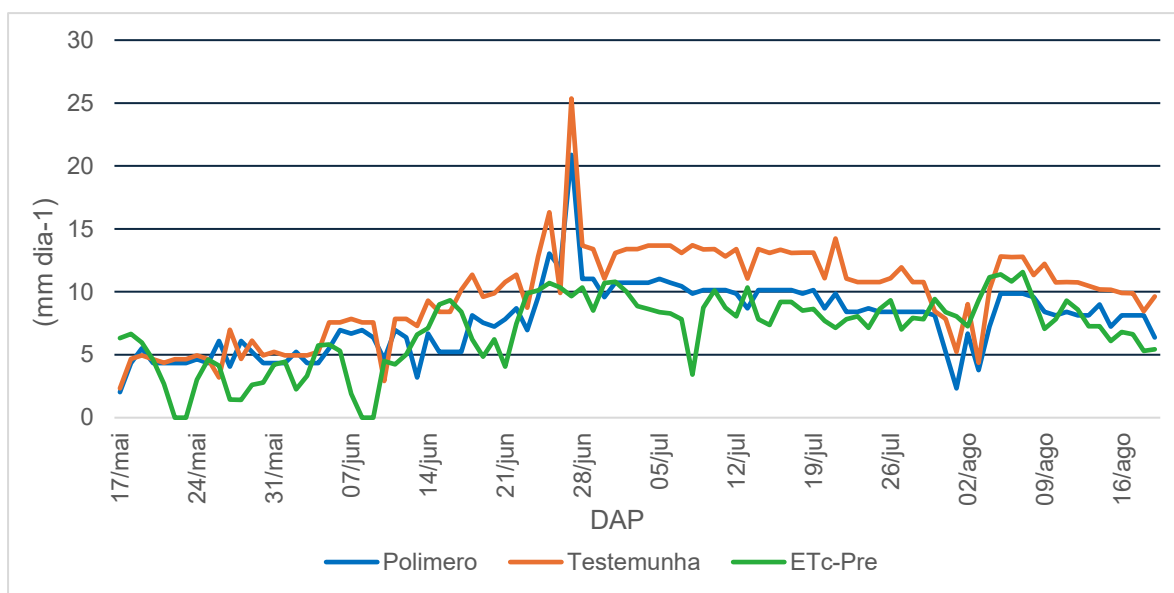


Figura 39 - Relação das necessidades hídricas da cultura com o volume aplicado em cada grupo (polímero X e testemunha).

Em geral, ao longo do ciclo cultural, observou-se que a linha do grupo polímero X (azul) apresentou maior proximidade à linha das necessidades hídricas ET_c - Pre (linha verde), do que a linha do grupo da testemunha (linha laranja). Isto pode sugerir que a irrigação no grupo do polímero X foi mais ajustada às reais necessidades hídricas da cultura.

Relacionando a **Fig. 39** com as fases de desenvolvimento do ciclo do tomate, pôde constatar-se que durante a fase II, vários foram os dias em que o grupo do polímero X registou volumes de água inferiores aos exigidos pela cultura. Nesta fase, este tipo de situação de stress hídrico pode impactar diretamente sobre a produtividade da cultura, porque esta situação ocorreu precisamente na fase de floração e vingamento dos frutos, identificados como os períodos mais exigentes em água e nutrientes (Francaviglia & Di Bene, 2019). Nesta situação, a ação do polímero mostrou-se fundamental e atuou inversamente ao impacto que seria esperado, pelo que, apesar de ter recebido menor quantidade de água, teve a capacidade de produzir mais frutos.

Importa referir que no dia 27/06 existiu um problema com os sensores e a *app* deu indicação que o campo se encontrava à capacidade de campo, contudo o agricultor deparou-se com o campo totalmente murcho, evidenciando um elevado stress hídrico, e teve de regar a fim de tentar inverter a situação. Numa situação crítica como esta, verificou-se que o polímero X necessitou de um menor volume de rega em comparação com a testemunha.

Durante a fase de crescimento dos frutos (fase III), que decorreu entre 26/06 e 16/07, foi visível a maior proximidade da linha do polímero X à linha das necessidades

hídricas da cultura. Durante o decorrer desta fase, observou-se que o grupo da testemunha apresentou sempre volumes de irrigação superiores ao grupo do polímero, enfatizando que o polímero X contribuiu para uma redução de água durante uma fase crítica como a fase de crescimento dos frutos. Esta fase é particularmente exigente em água e nutrientes no seu início, devido à rapidez de crescimento dos frutos (Torres et al., 2015).

Os volumes de água aplicados ao longo da fase IV, fase de maturação dos frutos, foram inferiores no grupo do polímero X comparativamente à testemunha. O polímero X demonstrou ser muito importante na redução do volume total de água aplicado, revelando efeitos positivos na capacidade de retenção de água no solo e na poupança de água, como verificaram os autores Nirmala & Thirupathaiah (2019), nos seus ensaios experimentais.

O menor volume de água aplicado no grupo do polímero X sugere que a sua utilização em solos arenosos, possa alterar fortemente a capacidade de retenção de água no solo, prevenindo as perdas por drenagem, tal como verificaram Montesano et al. (2015) nos ensaios realizados em estufa e Adjuik et al. (2022) no seu artigo de revisão sobre o impacto dos hidrogéis nas propriedades hidráulicas do solo. As descobertas de Saha et al. (2020) provaram que a utilização de um polímero aumentou o teor de água disponível para as plantas e revelou maior eficácia em solos de textura grosseira.

Torres et al. (2015) defenderam que pode haver um ligeiro défice hídrico na fase final da maturação e (Almeida, 2006; Patanè et al., 2011) salientaram que a interrupção da irrigação deve ser efetuada durante a fase de maturação, com vista à melhoria da qualidade dos frutos e de economia de água. Porém, o volume de água aplicado em ambos os grupos, a partir do dia 15/08, contrariaram ambas as estratégias passíveis de ser adotadas na fase final do ciclo.

Neste caso específico, tendo em consideração que o ensaio decorreu num solo arenoso, a aplicação de elevados volumes de água na fase final do ciclo serviu dois propósitos: primeiro, promover a compactação do solo para minimizar a movimentação da areia, permitindo que as máquinas colhedoras, os tratores e as galeras operassem sem o risco de atascar, facilitando as manobras necessárias à realização da colheita; segundo, serviu para reduzir a temperatura do solo, prevenindo cozimento dos frutos, salvaguardando a preservação da sua qualidade.

5.5.2. Humidade do solo

A **Fig. 40** mostra o registo da humidade de solo acumulada (mm) de cada sensor, nas cinco camadas, respetivamente, 10, 20, 30, 40 e 50 cm e a linha horizontal define a capacidade de campo.

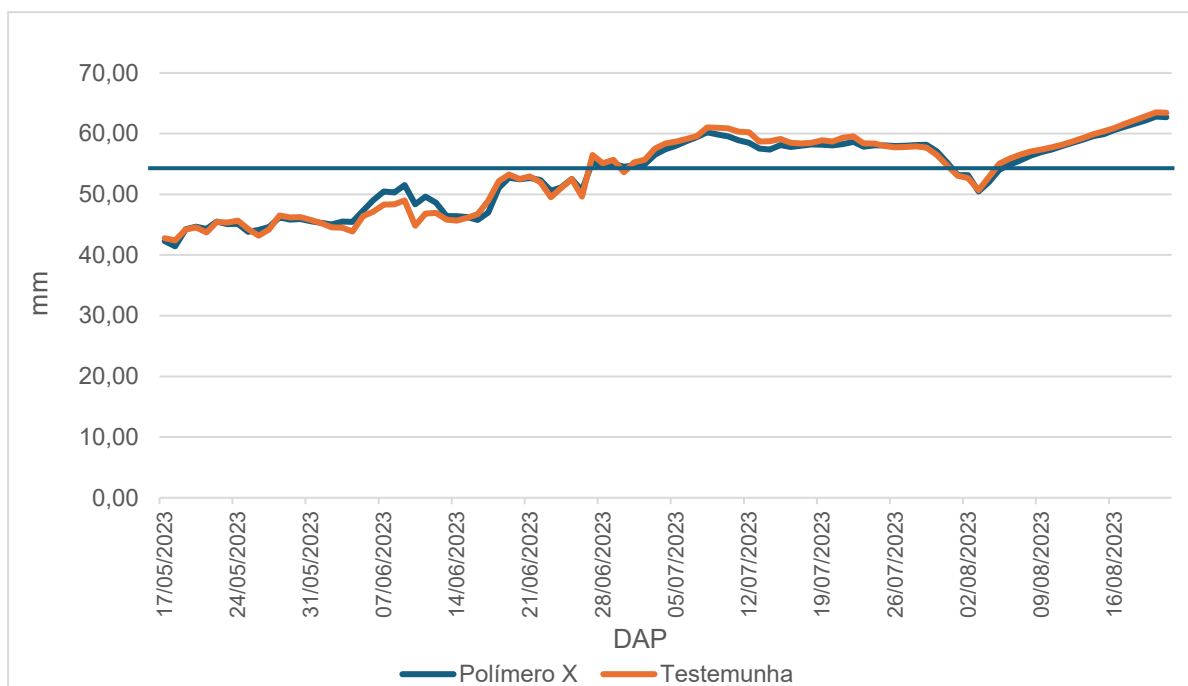


Figura 40 - Humidade do solo (mm) de ambos os grupos.

De forma generalizada, constatou-se que até aos 60 DAP (26/06), a humidade do solo esteve abaixo da capacidade de campo. A partir dessa data observou-se uma recuperação significativa, mantendo-se quase sempre acima da capacidade de campo, o que também sugere uma possível rega excessiva durante as fases III e IV.

A elevada quantidade de água aplicada no final da fase II e durante a fase III, proporcionou um incremento considerável da humidade no solo. Este aumento coincidiu com as fases de maior exigência hídrica e nutricional, nomeadamente a floração, vingamento e formação dos frutos e contribuiu para suportar o desenvolvimento da cultura durante estes períodos.

No final, o aumento da humidade do solo a partir dos 100 DAP (05/08) relacionou-se principalmente com a aplicação de volumes de água mais elevados, com o objetivo de facilitar as operações mecânicas relacionadas com a colheita, garantindo que o solo possuía as condições favoráveis para estas intervenções.

A **Fig. 41** e a **Fig. 42** representam a humidade de solo (mm) registada nas camadas de 10 e 20 cm de profundidade, ao longo do ciclo cultural, no grupo do polímero X e no grupo da testemunha.

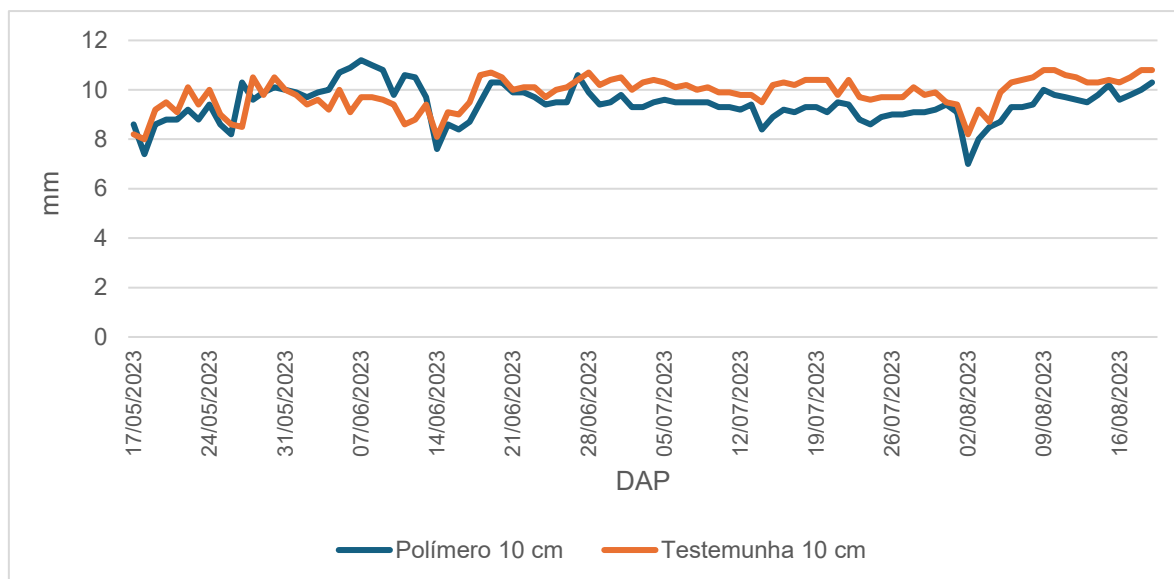


Figura 41 - Humidade do solo (mm) a 10 cm de profundidade.

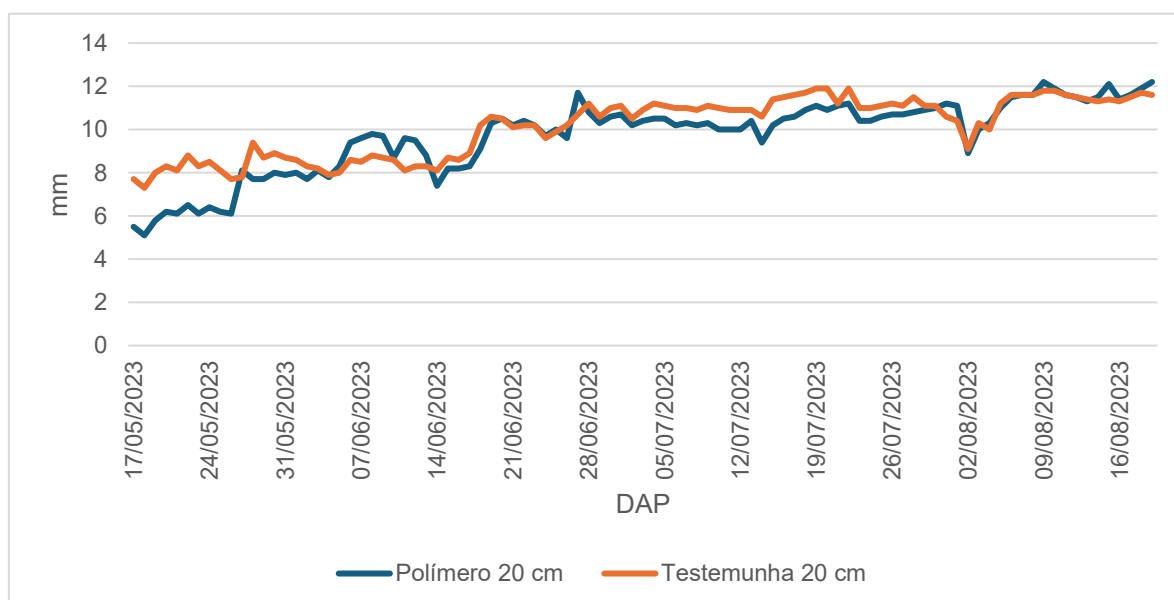


Figura 42 - Humidade do solo (mm) a 20 cm de profundidade.

Nas camadas de 10 e 20 cm de profundidade, verificou-se que até aos 40 DAP (05/06) a humidade de solo foi superior no grupo da testemunha de devido à maior frequência de irrigação.

Entre os dias 27/05 e 02/06 o grupo da testemunha teve um acréscimo no número de regas diárias efetuadas em relação ao grupo do polímero X, ainda assim o polímero com menores volumes de água aplicado conseguiu manter a humidade do solo, mesmo na camada mais exposta à evaporação. Pelo contrário, entre os dias 05/06 e 13/06 o grupo

do polímero X registou cinco dias com uma maior frequência de irrigação relativamente à testemunha, o que pode ter influenciado positivamente a humidade de solo.

É importante realçar que numa situação de stress hídrico, como a que ocorreu dia 27/06, o grupo do polímero X teve capacidade para compensar a falta de água e conseguiu registar valores de humidade de solo superiores ao grupo da testemunha, em ambas as camadas.

A partir desse momento, a humidade de solo foi semelhante nos dois grupos, com uma ligeira superioridade do grupo da testemunha, porém a frequência de irrigação foi sempre superior no grupo da testemunha até ao final do ciclo cultural, podendo sugerir que a aplicação do polímero X possibilitou uma maior retenção da humidade no solo. De notar que a humidade do solo no grupo do polímero X aos 20 cm de profundidade, conseguiu ser superior, mesmo com uma menor frequência de irrigação.

A **Fig. 43** mostra a humidade do solo registada a 30 cm de profundidade em ambos os grupos em estudo.

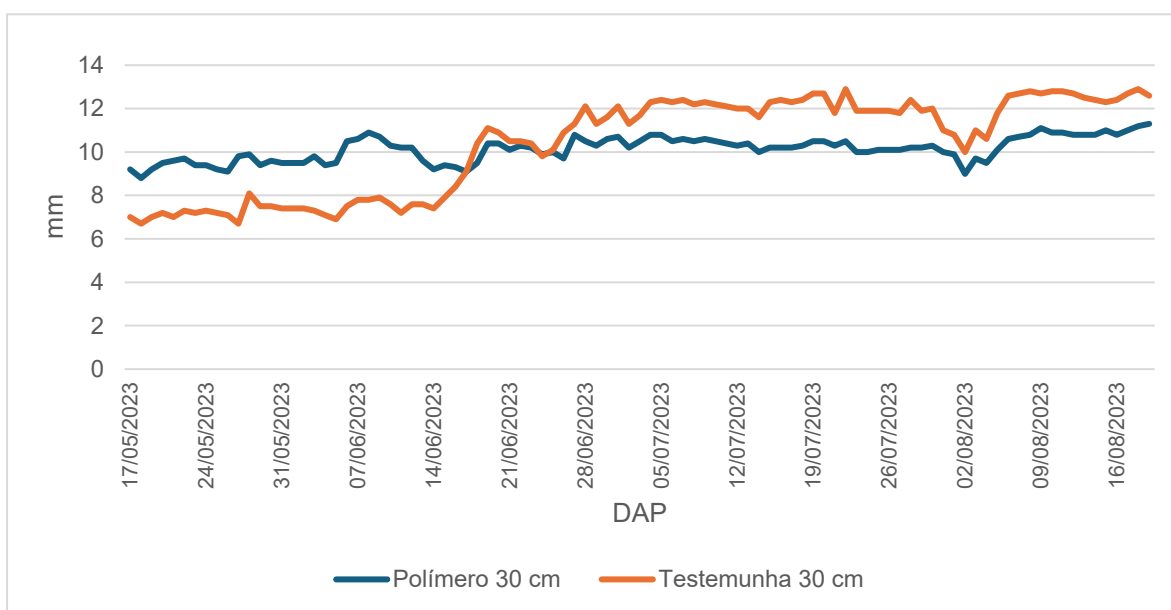


Figura 43 - Humidade do solo (mm) a 30 cm de profundidade.

Observou-se que o grupo do polímero X apresentou uma maior estabilidade da humidade do solo, ao longo de todo o ciclo cultural, comparativamente ao grupo da testemunha. A humidade de solo registada no grupo da testemunha até ao dia 17/06 foi inferior à do polímero, e a partir desta data foi sempre superior ao grupo do polímero X, contudo a maior frequência de irrigação registada pela testemunha a partir deste dia influenciou positivamente a humidade do solo a esta profundidade.

A **Fig. 44** representa a humidade do solo de ambas as camadas a 40 cm de profundidade.

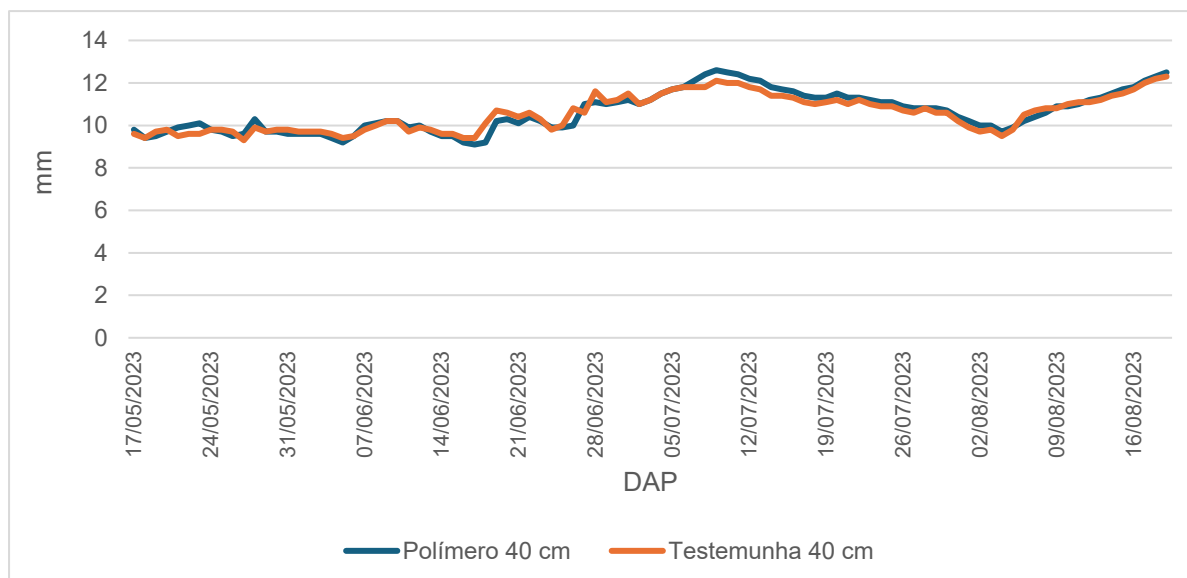


Figura 44 - Humidade do solo (mm) a 40 cm de profundidade.

Aos 40 cm de profundidade, observou-se em ambos os tratamentos que a humidade do solo foi bastante semelhante durante o ciclo cultural e apenas entre 07/07 e 04/08 grupo do polímero X que apresentou valores superiores à testemunha. Ainda que o grupo do polímero tenha recebido menor volume de água de irrigação, este mostrou a capacidade de manter a humidade do solo, por consequência da maior taxa de retenção de água.

A **Fig. 45** apresenta os valores de humidade do solo registados na camada de 50 cm de profundidade.

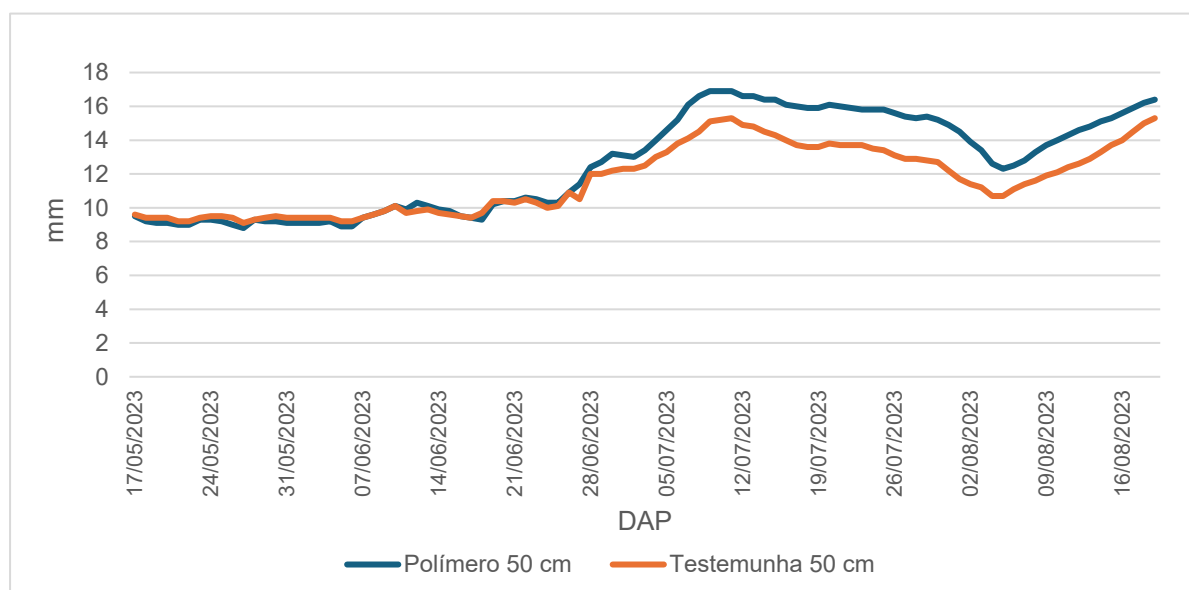


Figura 45 - Humidade do solo (mm) a 50 cm de profundidade.

O grupo do polímero X registou os valores de humidade mais elevados e consistentes ao longo do tempo, quando comparado com o grupo da testemunha, sugerindo uma boa capacidade de retenção de água nas camadas mais profundas do solo.

A maior superioridade de valores de humidade de solo registados a 50 cm de profundidade teve especial relevância a partir do dia 27/06, dia em que devido a um problema técnico da sonda verificou-se uma situação de elevado stress hídrico para as plantas, todavia o polímero X conseguiu fazer face às adversidades hídricas e simultaneamente foi capaz de apresentar valores de humidade de solo superiores do que o grupo da testemunha, garantindo água e nutrientes para as plantas. Este episódio sucedeu num dos períodos de maiores necessidades de água e nutrientes, durante a floração, e através do seu mecanismo de intumescimento o polímero permitiu não só manter como aumentar a humidade do solo, minimizando o stress hídrico durante esta fase crítica. Esta evidência está em concordância com Patra et al. (2022), quando frisaram que uma das características funcionais dos polímeros se prende com a tolerância ao stress hídrico.

No decorrer do ciclo cultural, o grupo do polímero X registou valores de humidade superiores ao grupo da testemunha, apresentando diferenças de humidade de solo consideráveis. Este facto é especialmente preponderante porque durante este período o grupo do polímero X presenciou um menor número de regas diário, em função da testemunha. Também é revelador da importância da sua aplicação como condicionador de solo, dado que os resultados indicam que a maiores profundidades do perfil do solo, o polímero conseguiu efetuar uma maior retenção de água no solo, garantindo uma maior estabilidade e uniformidade ao longo do tempo, que por sua vez proporcionou um aumento na humidade do solo e uma redução da irrigação. Além destes benefícios associados ao polímero X e considerando os valores de humidade de solo do grupo da testemunha, a aplicação do polímero X parece ter reduzido as perdas de água por infiltração e a lixiviação de nutrientes no grupo do polímero. Estes achados vão ao encontro do que mencionaram Patra et al. (2022), ao referirem que os polímeros superabsorventes têm a capacidade de aumentar o uso eficiente da água, minimizando a evaporação e as perdas por lixiviação, promovem uma redução da frequência de irrigação e possibilitam uma re-humidificação prolongada do solo.

5.5.3. Frequência de irrigação

As **Fig. 46** e **Fig. 47** mostram a frequência diária de rega dos dois grupos em estudo. Torna-se importante salientar que cada traço azul que aparece no gráfico não

corresponde necessariamente a uma hora de rega. O registo da duração de rega foi melhorado informaticamente apenas no ano de 2024, tornando-se mais preciso e fiável.

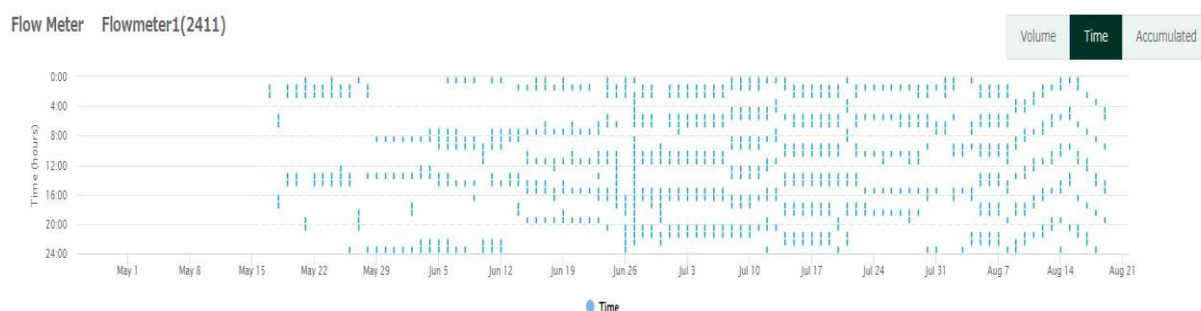


Figura 46 – Frequência diária de rega do grupo do polímero X (Sensor 2411 – *CropScope App*).

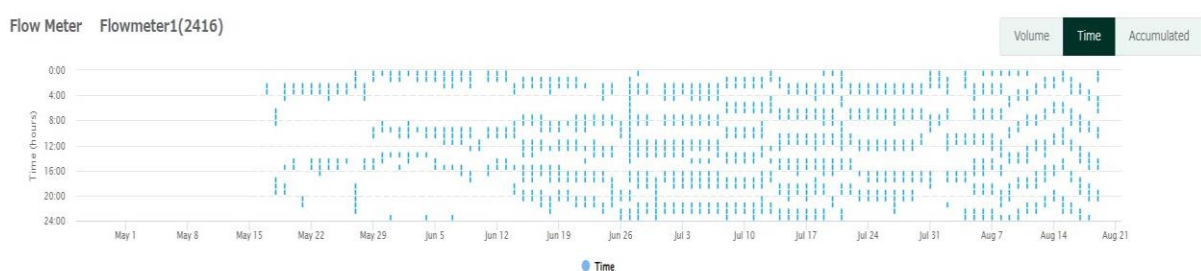


Figura 47 - Frequência diária de rega do grupo da testemunha (Sensor 2416 - *CropScope App*).

De forma geral, os dados confirmaram que o grupo do polímero X contabilizou um menor número de regas diário ao longo de todo o ciclo cultural, à exceção de dois períodos: de 3 a 6 de junho e de 11 a 12 de junho. Os dois períodos ocorreram durante a fase II do ciclo cultural e pode estar relacionada com o facto de o polímero ter apresentado valores inferiores às necessidades hídricas da cultura.

A maior frequência de rega registada no grupo da testemunha pode estar associada a elevadas taxas de infiltração, baixas capacidades de retenção de água e de troca catiónica, características associadas aos solos arenosos como afirmaram Nirmala & Thirupathiah (2019).

Por outro lado, o menor número de regas efetuado no grupo do polímero X pode indicar que a ação do polímero hidroretentor compensou as limitações do solo arenoso, proporcionando uma maior retenção da água e dos nutrientes e melhorando a sua disponibilidade para as plantas. Esta análise é sustentada por Mahgoub (2020) que refere que a utilização de polímeros superabsorventes pode desempenhar um papel singular na disponibilidade de água em solos arenosos, pelo que podem aumentar a capacidade de retenção de água no solo, podendo ser uma técnica promissora para melhorar a eficiência do uso da água e de fertilizantes.

A redução da necessidade de irrigação também é referenciada por (Patra et al., 2022; Saha et al., 2020), sugerindo que o polímero atua como uma ferramenta essencial contra o stress hídrico, principalmente em zonas de escassez, devido à sua capacidade de retenção de água no solo, proporcionando um maior abastecimento de água ao sistema radicular das plantas.

5.6. Qualidade

5.6.1. Análise da qualidade dos frutos na classificação

A diferenciação da colheita das galeras com os frutos de cada grupo mostrou-se essencial para efeitos de avaliação da qualidade, permitindo efetuar análises aos parâmetros de qualidade dos frutos com origem em ambos os grupos, aquando da classificação do tomate de cada galera na fábrica. O **Quadro 12** demonstra os resultados obtidos ao grau Brix.

Quadro 12 - Resultados do ° Brix dos frutos analisados na classificação.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	4,95	4,93
Desvio Padrão	0,065	0,141
Nº de amostras	3	3
Erro Padrão	0,038	0,081
Média ± EP	4,95 ± 0,038	4,93 ± 0,081
Estatística T	0,186	
p-value	0,862	

O grupo do polímero X registou um °Brix médio de 4,95 e o grupo da testemunha teve uma média de °Brix de 4,93. As diferenças de médias de °Brix entre tratamentos não foram estatisticamente significativas (p-value>0,05).

Quanto às análises de pH, o grupo do polímero X apresentou um pH médio de 4,31 e o grupo da testemunha de 4,24, pelo que não se verificaram diferenças significativas (p-value>0,05) entre as médias de pH de ambos os grupos, como se pode verificar no **Quadro 13**.

Quadro 13 - Resultados do pH dos frutos analisados na classificação.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	4,31	4,24
Desvio Padrão	0,050	0,031
Nº de amostras	3	3
Erro Padrão	0,029	0,018
Média ± EP	4,31 ± 0,029	4,24 ± 0,018
Estatística T	2,059	
p-value	0,109	

Relativamente à cor (a/b), o grupo do polímero X teve uma cor média ligeiramente inferior à testemunha, respetivamente, 1,99 e 2,05. Através do **Quadro 14**, pode afirmar-se que as diferenças de médias de cor registadas entre os dois grupos não foram significativas (p-value>0.05).

Quadro 14 - Resultados da cor (a/b) dos frutos analisados na classificação.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	1,99	2,05
Desvio Padrão	0,055	0,070
Nº de amostras	3	3
Erro Padrão	0,032	1,732
Média ± EP	1,99 ± 0,032	2,05 ± 1,732
Estatística T	-1,035	
p-value	0,359	

No que diz respeito à análise dos licopenos, pode afirmar-se que os valores de licopenos no grupo do polímero X foram inferiores (13,1) quando comparados com os valores do grupo da testemunha (15,02), mas as diferenças entre os dois grupos não demonstraram ser significativas (p-value>0,05) (**Quadro 15**).

Quadro 15 - Resultados dos licopenos dos frutos analisados na classificação.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	13,10	14,97
Desvio Padrão	1,253	0,115
Nº de amostras	3	3
Erro Padrão	0,723	0,067
Média ± EP	13,10 ± 0,723	14,97 ± 0,067
Estatística T	0,062	
p-value	4,303	

5.6.2. Análise da qualidade dos frutos no laboratório

Os Quadros 16, 17, 18 e 19 apresentam os resultados de qualidade obtidos das análises realizadas no laboratório aos frutos colhidos manualmente em cada grupo, respetivamente, linhas 7, 8, 9, 10 e 11 no grupo do polímero e linhas 33, 34, 35, 36 e 37 no grupo da testemunha, nos topos sul e norte da parcela.

Quadro 16 - Resultados do °Brix dos frutos analisados no laboratório.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	5,24	5,29
Desvio Padrão	0,197	0,209
Nº de amostras	10	10
Erro Padrão	0,062	0,066
Média ± EP	5,24 ± 0,062	5,29 ± 0,066
Estatística T	-0,467	
p-value	0,646	

Quadro 17 - Resultados do pH dos frutos analisados no laboratório.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	4,26	4,24
Desvio Padrão	0,023	0,032
Nº de amostras	10	10
Erro Padrão	0,007	0,010
Média ± EP	4,26 ± 0,007	4,24 ± 0,010
Estatística T	1,611	
p-value	0,124	

Quadro 18 - Resultados da cor (a/b) dos frutos analisados no laboratório.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	2,11	2,13
Desvio Padrão	0,079	0,066
Nº de amostras	10	10
Erro Padrão	0,025	0,021
Média ± EP	2,11 ± 0,025	2,13 ± 0,021
Estatística T	-0,635	
p-value	0,534	

Quadro 19 - Resultados dos licopenos dos frutos analisados no laboratório.

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	15,06	15,32
Desvio Padrão	0,524	0,315
Nº de amostras	10	10
Erro Padrão	0,166	0,100
Média ± EP	15,06 ± 0,166	15,32 ± 0,100
Estatística T	-1,345	
p-value	0,195	

Os resultados de cor (a/b) e licopenos alcançados em laboratório apresentaram a mesma tendência dos resultados no momento da classificação, com o grupo da testemunha a apresentar valores ligeiramente superiores aos valores do grupo do polímero X. Relativamente ao pH, observou-se a mesma tendência que nos resultados alcançados na classificação, uma ligeira superioridade nos valores médios de pH no grupo do polímero X comparativamente ao grupo da testemunha. Em relação ao °Brix verificou-se que o grupo da testemunha apresentou, em média, um valor ligeiramente superior ao do grupo do polímero X. As estatísticas de teste realizadas para cada parâmetro de qualidade mostraram que as diferenças não foram significativas (p-value>0,05).

Ao analisarmos os resultados de °Brix das análises efetuadas na classificação e no laboratório e relacionando com os volumes de água aplicados em ambos os grupos, pode afirmar-se que os resultados contrariaram os estudos desenvolvidos por Favati et al. (2009), tendo em conta que os autores descobriram que elevadas quantidades de água fornecidas às plantas podem diminuir o teor de sólidos solúveis (°Brix) nos frutos. Embora os valores de °Brix na testemunha (classificação) tenha sido inferior, pode afirmar-se que o maior volume de água aplicado neste grupo não correspondeu a um menor °Brix nos frutos. Quanto ao grupo do polímero X, apesar de ter sido aplicado um menor volume de água às plantas deste grupo, também não se verificou a relação inversa, ou seja, não promoveu aumento do °Brix.

No ano de 2023, a análise dos parâmetros de qualidade relativos à variedade UG16112, no momento da classificação do tomate, indicaram que o °Brix registou um intervalo de 4,10 a 5,98, a cor (a/b) de 1,90 a 2,12, os licopenos de 10,4 a 15,90 e o pH de 4,18 a 4,38. Assim, pode afirmar-se que os resultados dos vários parâmetros de qualidade obtidos neste ensaio, tanto na classificação como no laboratório, mantiveram-se dentro dos intervalos expectáveis para a variedade.

Os resultados médios de °Brix vão ao encontro do intervalo indicado por Garcia & Barrett (2006), 4,5 e 6,25% de teor de sólidos solúveis, comumente exibidos pelo tomate destinado ao processamento.

Os valores médios de pH registrados em ambos os grupos em estudo estão muito próximos do pH ótimo (4,25) necessário ao processamento de tomate, como indicam Garcia & Barrett (2006). Estes valores permitem à indústria assegurar a estabilidade microbiológica dos produtos processados e possibilitam a não adição de ácido cítrico aos mesmos, tal como afirmam (Calvo et al., 2008; Favati et al., 2009; Garcia & Barrett, 2006).

Calvo et al. (2008) referem que alguns autores que realizaram estudos com déficit hídrico, notaram que uma maior acidez dos frutos é consequência da irrigação com déficit hídrico, levando inversamente a pH mais baixos. Porém a relação inversa entre o pH e a acidez é imprecisa, devido à influência de fatores como a composição do solo, o estágio de maturação dos frutos e as condições climáticas.

Neste ensaio, apesar de ter sido aplicada menor quantidade de água no grupo do polímero X, este garantiu que as plantas mantivessem o conforto hídrico, não sendo aplicável um cenário de déficit hídrico. Por isso, não se verificou aumento da acidez e redução do pH, pelo contrário, o grupo do polímero X apresentou um valor de pH ligeiramente superior, mesmo com uma menor quantidade de água aplicada.

Segundo (Calvo et al., 2008; Garcia & Barrett, 2006; Gastélum-Barrios et al., 2011), a cor é um indicador determinante para a avaliação do estado de maturação dos frutos, posto isto, através da análise dos resultados alcançados, constatou-se que os valores de cor moderadamente superiores no grupo da testemunha refletiram uma maturação dos frutos mais avançada em relação aos frutos do grupo do polímero X.

De acordo com os mesmos autores, o licopeno é o pigmento vegetal que confere a coloração vermelha ao tomate e relaciona-se positivamente com a cor, assim admite-se que quanto maior for o teor de licopenos nos frutos maior será a cor no tomate. A **Fig. 48** é demonstrativa da relação existente encontrada nos frutos analisados oriundos da classificação do tomate das galeras.

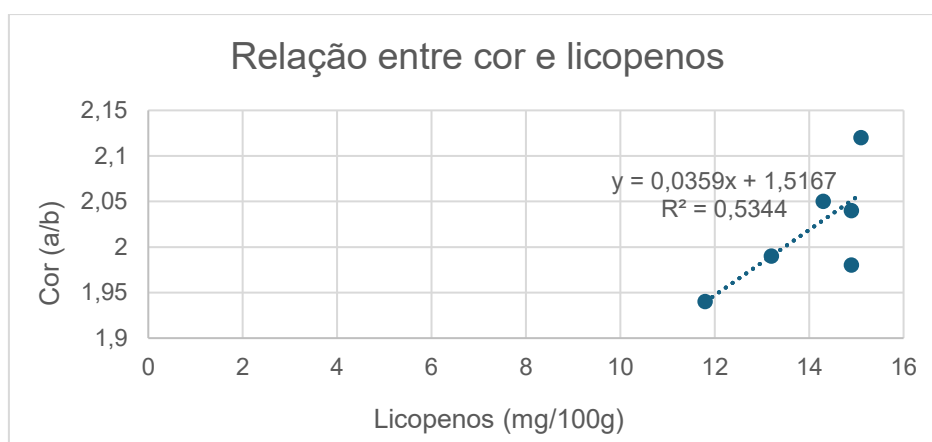


Figura 48 - Relação entre cor e licopenos (qualidade do tomate analisada na classificação).

Verificou-se que existe uma relação positiva entre os licopenos e a cor, mas o valor do coeficiente de determinação ($R^2=0,5344$) sugere que a relação linear não é muito forte e que a cor não depende exclusivamente dos licopenos, pois existem outros fatores que devem ser considerados. Este facto também é explicado pela dispersão dos pontos em torno da reta, indicando que apenas 53,44% dos resultados podem ser explicados pela relação.

A **Fig. 49** representa a relação entre a cor e o teor de licopenos referente às amostras de tomate analisadas em laboratório.

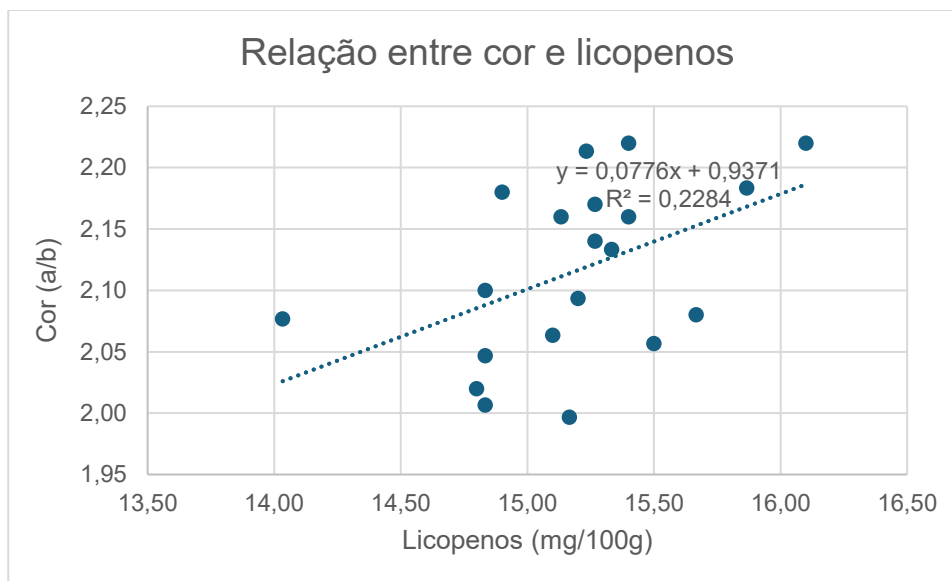


Figura 49 - Relação entre cor e licopenos (análises do laboratório).

Nesta situação, verificou-se que existe uma relação linear positiva muito fraca, com um $R^2=0,2284$. Perante a variabilidade da amostra, não se pode afirmar que a cor depende exclusivamente do teor de licopenos, pois o licopeno depende de outros fatores como o genótipo, condições ambientais e dotações de rega acima de 100% da ET_c (Lahoz et al., 2016).

Ao nível das condições ambientais, a temperatura é o fator com maior relevância que pode ter impacto sobre o teor de licopenos. A **Fig. 50** mostra as temperaturas que se fizeram sentir durante a fase de maturação (fase IV), mais especificamente, entre desde o dia 05/08 e 21/08.

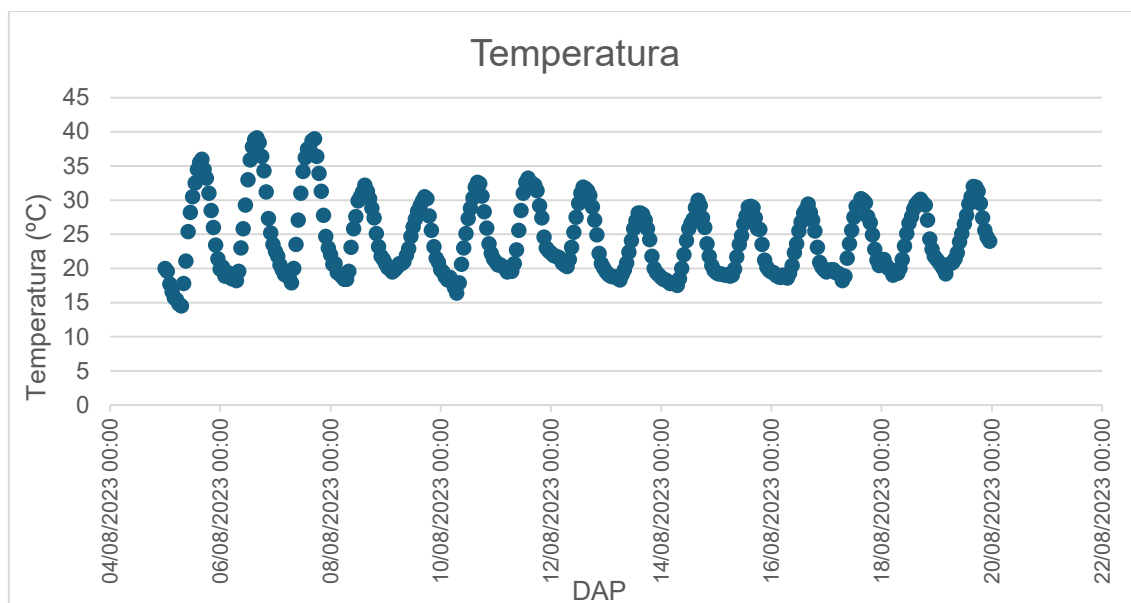


Figura 50 - Temperatura do ar durante a fase de maturação dos frutos.

Durante a fase de maturação, foram vários os dias em que as temperaturas estiveram acima de 30°C. Favati et al. (2009) realçam que o desenvolvimento do licopeno é desfavorecido quando se registam temperaturas acima de 30°C. Os resultados de licopeno podem ter sido influenciados negativamente pelas temperaturas superiores a 30°C, porque a biossíntese do licopeno é inibida e o β -caroteno continua a acumular-se normalmente, podendo assim prejudicar a cor do tomate e a respetiva qualidade. Esta ilação é corroborada por diversos autores (Almeida, 2006; Brandt et al., 2006; Garcia & Barrett, 2006).

5.6.3. Análise da firmeza dos frutos

O **Quadro 20** mostra os resultados de firmeza (kgf) obtidos dos dez frutos analisados de cada grupo: polímero X e testemunha.

Quadro 20 - Resultados da análise da firmeza dos frutos (kgf)

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	4,143	4,002
Desvio Padrão	0,305	0,223
Nº de amostras	10	10
Erro Padrão	0,096	0,070
Média $\pm$ EP	4,143 $\pm$ 0,096	4,002 $\pm$ 0,070
Estatística T	1,176	
p-value	0,255	

Os resultados alcançados evidenciaram que os frutos pertencentes ao grupo do polímero X tiveram uma média de firmeza ligeiramente superior aos do grupo da testemunha, porém as diferenças entre as médias de cada grupo não mostraram ser estatisticamente significativas ($p\text{-value} > 0,05$).

Patanè & Cosentino (2010) mencionaram que a firmeza dos frutos pode aumentar em situações de stress hídrico, dado que existe uma diminuição da capacidade de turgescência das células que constituem a parede celular. Relacionando este facto com a redução do volume de água aplicado no polímero X, pode afirmar-se que através da sua ação gerou ótimas condições às plantas, de forma a não presenciarem situações de stress hídrico, refletindo-se *à posteriori* nos valores de firmeza conseguidos.

Gostaria de realçar que as galeras com os frutos de ambos os grupos foram conduzidos para a descarga especial de produção de cubos, dado que satisfaziam os critérios de qualidade essenciais, principalmente devido à firmeza e espessura da parede, como também ao °Brix e à cor. A **Fig. 51** é elucidativa das características anteriormente mencionadas, assim como da dimensão dos frutos. Entenda-se que “9 Polímero Pivot” representam frutos provenientes do grupo do polímero X, da linha 9 do topo sul da parcela e “34 Testemunha Barracão” como frutos com origem na linha 34, pertencente ao grupo da testemunha do topo norte da parcela.



Figura 51 - Frutos do grupo do polímero e do grupo da testemunha.

Importa destacar que a aplicação do polímero X desempenhou um papel fundamental na manutenção da qualidade dos frutos, em simultâneo com redução do

volume de água aplicado. O mecanismo de intumescimento garantiu as condições de conforto hídrico, além de proporcionar uma maior disponibilidade de nutrientes em redor do sistema radicular.

Estes resultados demonstraram que o polímero X surge como uma ferramenta viável para a produção de tomate de indústria, sugerindo que é possível alcançar níveis de qualidade semelhantes aos obtidos com maiores volumes de água, contrariando a ideia de que menores volumes de água podem comprometer a qualidade dos frutos.

6. Considerações Finais

Considerando os objetivos traçados e os resultados obtidos pode afirmar-se que a aplicação do polímero X demonstrou ser uma opção promissora para que se possa efetuar um uso eficiente da água, considerando que foi possível poupar 20,5% de água de rega durante todo o ciclo cultural. A aplicação do polímero X parece ser de especial preponderância em solos arenosos, pois possibilitou uma maior retenção de água no solo, aumentou a humidade do solo, principalmente em maiores profundidades, demonstrou maior resiliência em situações de stress hídrico e permitiu reduzir a frequência de irrigação.

O polímero X revelou-se especialmente importante no crescimento e desenvolvimento da parte aérea das plantas e no fornecimento de nutrientes, pelo que o seu mecanismo de intumescimento permitiu um aporte constante de água e nutrientes que além de garantir o conforto hídrico, permitiu o seu total desenvolvimento.

Quanto à produtividade, o grupo do polímero X demonstrou resultados indicadores de aumento de produção. Apesar de estatisticamente as diferenças não serem significativas, em média o grupo do polímero X apresentou consistentemente valores de produtividade superiores ao grupo da testemunha, com a vantagem de se ter aplicado volumes de água inferiores ao da testemunha. Estes resultados sugerem que o polímero X, além de ter potenciado a produtividade, permitiu efetuar uma melhor eficiência hídrica, confirmando o seu potencial como ferramenta viável para a gestão dos recursos hídricos.

A qualidade dos frutos manteve-se entre ambos os tratamentos, por isso a aplicação do polímero não teve impacto negativo sobre as características qualitativas dos frutos, essenciais à indústria de transformação.

A consciencialização do produtor passou em grande parte pelo seu envolvimento em todas as tarefas e pela explicação e demonstração dos benefícios da aplicação do polímero X ao solo, sensibilizando-o para a importância da mudança de hábitos, fulcral num contexto de alterações climáticas. É importante realçar que a aplicação do polímero X teve continuidade no ano de 2024, num solo com elevada salinidade, para que se percebesse a sua viabilidade na resistência à salinidade, como também foi aplicado no ano de 2025 por vários produtores, em solos arenosos, mas ao invés da formulação grossa, foi utilizada a formulação fina. Esta adoção contínua do polímero, reflete a preocupação dos produtores em implementar estratégias inovadoras, que não apenas promovem a redução do consumo de água, mas também potencializam o aumento dos rendimentos agrícolas e são demonstrativas do seu compromisso com práticas agrícolas mais sustentáveis.

O uso de polímeros pode assumir-se como uma prática agrícola mais sustentável e inovadora, que permite economizar água, utilizando-a de forma mais eficiente, e contribuir

para aumentar a resiliência dos sistemas de produção agrícolas, demonstrando que a adoção de novas estratégias pode ser benéfica para conseguirmos um equilíbrio entre a produtividade, eficiência hídrica e conservação dos recursos.

Relativamente a linhas futuras de investigação, é importante realizar a repetição do ensaio para consolidar os dados e as conclusões obtidas. No meu entendimento e assumindo a bibliografia consultada, apenas fará sentido efetuar a repetição do ensaio em solos arenosos, tendo em conta que vários autores já concluíram que o melhor desempenho dos polímeros acontece em solos de textura grosseira.

Considero que pode ser efetuado uma diferenciação de setores com diferentes quantidades de polímero (kg/ha), para perceber de que forma influencia os resultados e definir as quantidades limiares ideais de aplicação polímero no solo.

Aprecio que seria interessante efetuar uma comparação num ensaio em campo com o mesmo polímero, mas com diferentes tipos de granulação, de modo a avaliar se o polímero de granulação fina apresenta maior capacidade de retenção de água por possuir uma maior área de superfície.

Julgo que seria relevante repetir o ensaio com outras variedades de tomate de indústria, principalmente variedades menos produtivas que a UG16112, para perceber melhor o seu impacto sobre a produtividade.

O facto de ter sido utilizado um polímero de origem natural e biodegradável, seria pertinente avaliar os seus impactos no microbioma do solo.

A avaliação dos parâmetros de qualidade num contexto de aplicação de polímeros superabsorventes carece de mais estudo, a fim de se conseguir retirar ilações sobre a sua influência na qualidade dos frutos.

Por fim, considera-se importante efetuar uma análise económica sobre a razão custo-benefício da aplicação do polímero e avaliar como o polímero pode influenciar a conta cultura por hectare em tomate de indústria.

7. Referências Bibliográficas

- Abrisham, E. S., Jafari, M., Tavili, A., Rabii, A., Zare Chahoki, M. A., Zare, S., Egan, T., Yazdanshenas, H., Ghasemian, D., & Tahmoures, M. (2018). Effects of a super absorbent polymer on soil properties and plant growth for use in land reclamation. *Arid Land Research and Management*, 32(4), 407–420. <https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1506526>
- Adjuik, T. A., Nokes, S. E., Montross, M. D., & Wendroth, O. (2022). The Impacts of Bio-Based and Synthetic Hydrogels on Soil Hydraulic Properties: A Review. In *Polymers* (Vol. 14, Issue 21). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14214721>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2012). *Programa nacional para o uso eficiente da água recursos hídricos*.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*.
- Almeida, D. (2006). *Manual de Culturas Hortícolas - Volume II: Vol. II* (Editorial Presença, Ed.; 1ª Edição).
- Alomari-Mheidat, M., Corell, M., Castro-Valdecantos, P., Andreu, L., Moriana, A., & Martín-Palomo, M. J. (2023). Effect of Water Stress and Rehydration on the Cluster and Fruit Quality of Greenhouse Tomatoes. *Agronomy*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy13020563>
- Behera, S., & Mahanwar, P. A. (2020). Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review. In *Polymer-Plastics Technology and Materials* (Vol. 59, Issue 4, pp. 341–356). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/25740881.2019.1647239>
- Brandt, S., Pék, Z., Barna, É., Lugasi, A., & Helyes, L. (2006). Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(4), 568–572. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2390>
- Calvo, A. C., Carreras, R. de la T., & Ramos, C. G. (2008). *Parametros de calidad en el tomate para industria*.
- Cardoso, J. V. J. de C. (1965). *Os solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese 1- A Sul do Rio Tejo* (D.-G. dos S. A. Secretaria de Estado da Agricultura, Ed.;

2ª Edição, Issue Secretaria de Estado da Agricultura, Direção Geral dos Serviços Agrícolas).

- Carucci, F., Gagliardi, A., Giuliani, M. M., & Gatta, G. (2023). Irrigation Scheduling in Processing Tomato to Save Water: A Smart Approach Combining Plant and Soil Monitoring. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/app13137625>
- Cerasola, V. A., Perlotti, L., Pennisi, G., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2022). Potential Use of Superabsorbent Polymer on Drought-Stressed Processing Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in a Mediterranean Climate. *Horticulturae*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080718>
- Chang, L., Xu, L., Liu, Y., & Qiu, D. (2021). Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107021>
- Chartzoulakisa, K., & Bertaki, M. (2015). Sustainable Water Management in Agriculture under Climate Change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.011>
- Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. (2024, February 21). *Intervenção Uso Eficiente da Água (UEA)*. <https://www.dgadr.gov.pt/eficiencia-hidrica/intervencao-uso-eficiente-da-agua-uea>
- Elshafie, H. S., & Camele, I. (2021). Applications of absorbent polymers for sustainable plant protection and crop yield. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su13063253>
- FAO, & WWC. (2015). *Towards a water and food secure future critical perspectives for policy-makers*. www.fao.org/publications
- Favati, F., Lovelli, S., Galgano, F., Miccolis, V., Di Tommaso, T., & Candido, V. (2009). Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 562–571. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.026>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Agricultural production statistics 2000-2022 FAOSTAT Analytical Brief 79 FAOSTAT CROPS AND LIVESTOCK PRODUCTION INTRODUCTION*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

- Francaviglia, R., & Di Bene, C. (2019). Deficit drip irrigation in processing of tomato production in the mediterranean basin: A data analysis for italy. *Agriculture (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/agriculture9040079>
- Fundação Calouste Gulbenkian. (2020). *O uso da água em Portugal olhar, compreender e actuar com os protagonistas chave*.
- Ganeva, D., Grozeva, S. Y., & Pevicharova, G. T. (2019). Effect of reduced irrigation on flowering, fruit set and yield of indeterminate tomato. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2 Special Issue 4), 932–936. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1185.0782S419>
- Garcia, E., & Barrett, D. M. (2006). *Evaluation of processing tomatoes from two consecutive growing seasons: quality attributes, peelability and yield*. www.pdflib.com
- Gastélum-Barrios, A., Bórquez-López, R. A., Rico-García, E., Toledano-Ayala, M., & Soto-Zarazúa, G. M. (2011). Tomato quality evaluation with image processing: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 6(14), 3333–3339. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.108>
- Giuliani, M. M., Gatta, G., Nardella, E., & Tarantino, E. (2016). Water saving strategies assessment on processing tomato cultivated in Mediterranean region. *Italian Journal of Agronomy*, 11(1), 69–76. <https://doi.org/10.4081/ija.2016.738>
- Hagassou, D., Francia, E., Ronga, D., & Buti, M. (2019). Blossom end-rot in tomato (*Solanum lycopersicum* L.): A multi-disciplinary overview of inducing factors and control strategies. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 249, pp. 49–58). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.042>
- Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. In *Agricultural Water Management* (Vol. 155, pp. 113–124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.014>
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., & Rengifo, T. (2007). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*.
- Lahoz, I., Pérez-de-Castro, A., Valcárcel, M., Macua, J. I., Beltrán, J., Roselló, S., & Cebolla-Cornejo, J. (2016). Effect of water deficit on the agronomical performance and quality of processing tomato. *Scientia Horticulturae*, 200, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.051>

- Ma, Q., Yamaguchi, T., Nakata, N., Katsube-Tanaka, T., & Nakano, J. (2004). *Factors affecting the bleeding rate from the basal partcut end of stem in Soybean (Glycine max (L.) Merr.) seedlings.*
- Mahgoub, N. A. (2020). *Effectiveness of Hydrogel Application on Tomato (Solanum lycopersicum L.) Growth and some Sandy Soil Chemical Properties under Drip Irrigation System* (Vol. 5, Issue 1).
- Montesano, F. F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A., & Serio, F. (2015). Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 451–458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>
- Mostafa, D. M., Kenawy, E.-R., & Kandil, S. (2018). The combined effect of irrigation and soil conditioners on water use efficiency of tomato plants. *Middle East Journal of Agriculture Research*.
- Nicola, S., Tibaldi, G., & Fontana, E. (2009). *Tomato Production Systems and Their Application to the Tropics.*
- Nirmala, A., & Thirupathaiah, G. (2019). *Hydrogel/superabsorbent polymer for water and nutrient management in horticultural crops-review Nirmala A and Thirupathaiah Guvvali.* <https://www.researchgate.net/publication/335790969>
- OECD. (2017). *Safety assessment of transgenic organisms in the environment: OECD Consensus Documents Chapter 2 - Tomato (Solanum lycopersicum).*
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Arolu, F., Chukwu, S. C., Salisu, M. A., Fagbohun, I. K., Muftaudeen, T. K., Swaray, S., & Haliru, B. S. (2022). Superabsorbent Polymer Hydrogels for Sustainable Agriculture: A Review. In *Horticulturae* (Vol. 8, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605>
- Oliveira, M. do R. G., Calado, A. M., & Portas, C. A. M. (1996). Tomato Root Distribution under Drip Irrigation. In *J. AMER. SOC. HORT. SCI* (Vol. 121, Issue 4).
- Ouyang, Z., Tian, J., Yan, X., & Shen, H. (2021). Effects of different concentrations of dissolved oxygen on the growth, photosynthesis, yield and quality of greenhouse tomatoes and changes in soil microorganisms. *Agricultural Water Management*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106579>
- Patanè, C., Corinzia, S. A., Testa, G., Scordia, D., & Cosentino, S. L. (2020). Physiological and agronomic responses of processing tomatoes to deficit irrigation at critical stages

- in a semi-arid environment. *Agronomy*, 10(6).
<https://doi.org/10.3390/agronomy10060800>
- Patanè, C., & Cosentino, S. L. (2010). Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 97(1), 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.021>
- Patanè, C., Tringali, S., & Sortino, O. (2011). Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 590–596.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.030>
- Patra, S. K., Poddar, R., Brestic, M., Acharjee, P. U., Bhattacharya, P., Sengupta, S., Pal, P., Bam, N., Biswas, B., Barek, V., Ondrisik, P., Skalicky, M., & Hossain, A. (2022). Prospects of Hydrogels in Agriculture for Enhancing Crop and Water Productivity under Water Deficit Condition. In *International Journal of Polymer Science* (Vol. 2022). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2022/4914836>
- Peralta, I. E., Spooner, D. M., & Knapp, S. (2008). Taxonomy of Wild Tomatoes and Their Relatives (Solanum sect. Lycopersicoides, sect. Juglandifolia, sect. Lycopersicon; Solanaceae). In *Source: Systematic Botany Monographs* (Vol. 84).
- Quezada, E. T., Taveras, R. J. G., & Cruz, S. P. (2023). *Basic Tomato (Lycopersicon esculentum) Physiology and Morphology Economic Importance*.
- Saha, A., Sekharan, S., & Manna, U. (2020). Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. In *Soil and Tillage Research* (Vol. 204). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012a). Crop yield response to water. *FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER*.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012b). Crop yield response to water. *FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER*.
- Sultana, S., Shariff, M. A., Hossain, M. A., Khatun, A., & Huque, R. (2016). *Effect of Super water absorbent (SWA) hydrogel on productivity and quality of Tomato*.
www.ischolarsresearchlibrary.com
- Torres, C. C., García, J. Á. G., Gallego, R. F., Árias, S. M., García, V. G., Ceferino, Á. C., Delgado, C. D., & Losada, M. del H. P. (2015). *Manual Práctico de Riego para Tomate de Industria*.

United Genetics Italia. (2023). *Pomodoro da industria*.

Yang, Y., Liang, Z., Zhang, R., Zhou, S., Yang, H., Chen, Y., Zhang, J., Yin, H., & Yu, D. (2024). Research Advances in Superabsorbent Polymers. In *Polymers* (Vol. 16, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym16040501>

Zhang, H., Xiong, Y., Huang, G., Xu, X., & Huang, Q. (2017). Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the Hetao Irrigation District. *Agricultural Water Management*, 179, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.022>

Zheng, H., Mei, P., Wang, W., Yin, Y., Li, H., Zheng, M., Ou, X., & Cui, Z. (2023). Effects of super absorbent polymer on crop yield, water productivity and soil properties: A global meta-analysis. In *Agricultural Water Management* (Vol. 282). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108290>

Zotarelli, L., Scholberg, J. M., Dukes, M. D., Muñoz-Carpena, R., & Icerman, J. (2009). Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, 96(1), 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.007>

8. Anexos

Anexo I – World production estimate of tomatoes for processing



**World Processing
Tomato Council**

World production estimate of tomatoes for processing

Date of last update: 26/10/2023

World Processing Tomato Council			2021 FINAL		2022 FINAL		2023 PRELIM		AVERAGE 2020-2022	VARIATION 2023 vs 2022
NORTHERN HEMISPHERE	MEMBERS IN MEDITERRANEAN AREA (AMITOM)	Egypt	440	Mem.	456	Mem.	600	Mem.	499	32%
		France	164	Mem.	142	Mem.	160	Mem.	155	13%
		Greece	420	Mem.	340	Mem.	390	Mem.	383	15%
		Hungary**	115	Mem.	80	Mem.	110	Mem.	102	38%
		Iran**	1300	Est.	1800	Mem.	2000	Mem.	1700	11%
		Israel	200	Est.	200	Est.	200	Est.	200	0%
		Italy	6059	Mem.	5476	Mem.	5400	Mem.	5645	-1%
		Malta**	7	Mem.	5	Mem.	8	Est.	7	60%
		Portugal***	1596	Mem.	1414	Mem.	1500	Mem.	1503	6%
		Spain***	3185	Mem.	2125	Mem.	2600	Mem.	2637	22%
		Syria**	40	Est.	40	Est.	40	Est.	40	0%
		Tunisia	940	Mem.	649	Mem.	675	Mem.	755	4%
		Turkey	2200	Mem.	2350	Mem.	2700	Mem.	2417	15%
		Ukraine**	800	Mem.	120	Mem.	500	Mem.	473	317%
	Subtotal AMITOM		17 466		15 197		16 883		16 515	11%
	of which members in EU		11 546		9 582		10 168		10 432	6%
OTHER MEMBERS	Brazil	1525	Mem.	1632	Mem.	1650	Mem.	1 602	1,1%	
	Canada	399	Mem.	548	Mem.	530	Mem.	492	-3%	
	California	9761	Mem.	9514	Mem.	11 470	Mem.	10 248	21%	
	China	4800	Mem.	6200	Mem.	8 000	Mem.	6 333	29%	
	Japan	28	Mem.	27	Mem.	26	Mem.	27	-4%	
Subtotal Other Members		16 513		17 921		21 676		18 703	21,6%	
NON MEMBERS	Algeria*	1000	Misc.	1 200	Misc.	1 350	Misc.	1 183	13%	
	Bulgaria	40	Est.	40	Est.	37	Est.	39	-8%	
	Czech Republic	25	Est.	25	Est.	25	Est.	25	0%	
	Morocco*	100	Est.	100	Est.	100	Est.	100	0%	
	Poland	175	Est.	175	Est.	250	Misc.	200	43%	
	Russia*	523	Mem.	638	Mem.	660	Misc.	607	3%	
	Slovakia	20	Est.	20	Est.	20	Est.	20	0%	
	USA excluding California	462	Misc.	450	Misc.	450	Misc.	454	0%	
Subtotal Non Members		2 345		2 648		2 892		2 628	9%	
Total Northern Hemisphere		36 324		35 766		41 451		37 847	15,9%	
SOUTHERN HEMISPHERE	MEMBERS	Argentina	596	Mem.	626	Mem.	586	Mem.	603	-6,4%
		Australia	233	Mem.	227	Mem.	110	Mem.	190	-51,5%
		Chile	1 174	Mem.	971	Mem.	1 150	Mem.	1 098	18,4%
		Peru	120	Mem.	125	Mem.	150	Mem.	132	20,0%
		South Africa	125	Mem.	120	Mem.	160	Mem.	135	33,3%
	Subtotal members		2 248		2 069		2 156		2 158	4,2%
	NON MEMBERS	Dominican Republic	227	Misc.	227	Est.	227	Est.	227	0,0%
		India	162	Misc.	162	Est.	162	Est.	162	0,0%
		Mexico	40	Est.	40	Est.	40	Est.	40	0,0%
		New Zealand	50	Est.	52	Misc.	25	Misc.	42	-51,9%
		Senegal	73	Est.	73	Est.	73	Est.	73	0,0%
		Thailand	40	Misc.	40	Est.	40	Est.	40	0,0%
		Venezuela	20	Est.	20	Est.	20	Est.	20	0,0%
Subtotal non members		612		614		587		604	-4,4%	
Total Southern Hemisphere		2 860		2 683		2 743		2 762	2,2%	
GENERAL TOTAL		39 184		38 449		44 194		40 609	14,9%	
of which members of the WPTC		36 227		35 187		40 715		37 376	15,7%	
WPTC as percentage of total production		92%		92%		92%		92%	0,7%	

SOURCES:

Mem.= WPTC members, Off.= Official data, Misc.= Other sources (industry contacts, press, ...), Est.= WPTC estimate, in the absence of reliable data

Notes:

Hemispheres are not defined in the strict geographic sense but as Northern Hemisphere: crop period mainly July to December & Southern Hemisphere: crop period mainly January to June

* Previously an AMITOM member ** AMITOM associate members *** Tomatoes produced in Portugal but processed in Spain are reported in Spain

DISCLAIMER:

WPTC does not guarantee or assume any liability for the accuracy of the contents of this report and shall not be responsible for any losses sustained as a result of relying on the contained information.

For more information, contact Sophie Colvine, WPTC General Secretary at colvine@tomato.org - www.wptc.to

Anexo II – Análise de solo da parcela Vale Queimado



Las actividades marcadas con un * no están amparadas por la acreditación de ENAC Nº423/LE838 Nº423/LE1170.

INFORME ANALÍTICO N° 000463161GEN-A01-001

#CLIENTE:	HORTOFRUTICOLAS CAMPELOS SA		
#DIRECCION:	Rua de Santa Marta, nº51 Esq 2080 – 346 Benfica do Ribatejo Portugal		
N° DE MUESTRA:	000463161	#MATERIAL:	Suelo agrícola
#REFERENCIA:	T70 - VALE QUEIMADO		
#INFORMACIÓN ADICIONAL:			
OBSERVACIONES:			
DESCRIPCION:	Muestra en envase cerrado, no precintado.		
CANTIDAD APROX.:	1kg	ENVASE:	Plástico
* TOMA MUESTRA:	Cliente	* FECHA/HORA TOMA MUESTRA:	09/03/2023 No aportada por el cliente
FECHA/HORA RECEPCIÓN:	10/03/2023 12:26:00	FECHA INICIO:	10/03/2023
		FECHA FIN:	17/03/2023

Interpretaciones

Parámetro	Valoración
-----------	------------

Textura

* Textura según normas USDA

Arenoso



Propiedades sobre la fertilidad

* Carbonatos	No calcáreo	0 0.14 % CaCO ₃ 2.00 10.05 25.05 50.00 No calcáreo Poco calcáreo Calcáreo Muy calcáreo GAGNARD et al 1988
* Materia orgánica oxidable	Muy pobre	0 1.00 2.00 2.56 3.51 10.00 Muy pobre Pobre Normal Rico Muy rico CHOS 1983
* pH a 25°C 1:5	Neutro	0 4.95 5.95 6.55 7.35 7.0 Fuertemente ácido Francamente ácido Ligeramente ácido Neutro CJ 2018/2019

Macroelementos

* Fósforo extraíble (Mehlich 3)	Muy alto	0 15.00 25.00 35.00 45.00 1100 468 mg Muy bajo Bajo Normal Alto Muy alto Universitat de Lleida
---------------------------------	----------	--

INFORME ANALÍTICO Nº 000463161GEN-A01-001

Parámetro	Valoración	
Macroelementos		
* Magnesio extraíble (Mehlich 3)	Normal	 0 0.25 0.50 1.00 2.00 1000 Muy bajo Bajo Normal Alto Muy alto BALLAND 1984 y GARDNER et al 1988
* Potasio extraíble (Mehlich 3)	Bajo	 0 0.25 0.50 0.75 1.25 1000 Muy bajo Bajo Normal Alto Muy alto Torres 1988

INFORME ANALÍTICO Nº 00046316IGEN-A01-001

Parámetro	Resultado	U	% Rec	LC	Unidad	Método	Técnica
Textura							
* Arcilla según clasificación USDA	0				%	PEE47	Densimetría
* Arena según clasificación USDA	94				%	PEE47	Gravimetría
* Limo según clasificación USDA	6				%	PEE47	Cálculo
* Textura según normas USDA	Arenoso					PEE47	Cálculo
Propiedades sobre la fertilidad							
* Carbonatos	0.14			0.10	% CaCO ₃	PEE46	Calimetría
* Materia orgánica oxidable	0.80			0.020	%	Interno	Espectrofotometría UV Vis
* Nitrógeno Nitrico	< 10.0			10.0	mg/Kg	PEE50/104	Cromatografía Iónica
pH a 25°C 1:5	7.0			2.0		PEE50/01	Potenciometría
Macroelementos							
* Fósforo extraíble (Mehlich 3)	468			5.00	mg/Kg	PEE50/118	ICP OES
* Magnesio extraíble (Mehlich 3)	0.74			0.40	meq/100 g	PEE50/118	ICP OES
* Nitratos	20.3			10	mg/Kg	PEE50/104	Cromatografía Iónica
* Potasio extraíble (Mehlich 3)	0.31			0.12	meq/100 g	PEE50/118	ICP OES
Ensayos varios							
* Necesidad de cal	No necesaria				Tm CaCO ₃ /Ha	Interno	.

La valoración de los resultados está basada en criterios de referencia internos del cliente o normativos.

La toma de muestras, comentarios y valoraciones están fuera del alcance de acreditación de ENAC Nº423/LE838 Nº423/LE1170.

Observaciones: El laboratorio da fe de los resultados de la muestra recepcionada. Este informe no puede reproducirse, más que en su totalidad, sin autorización por escrito del laboratorio. La incertidumbre estimada (U), en métodos cuantitativos, es para un nivel de confianza del 95% (k=2), expresada en valor absoluto. En caso de no indicarse en el informe, se encuentra estimada y a disposición del cliente. La incertidumbre debida al muestreo no se encuentra incluida dentro de la incertidumbre informada del ensayo.

Si no se indica lo contrario, los resultados de los parámetros analizados no han sido corregidos con factores de recuperación.

LC: límite de cuantificación. LML: Límite Máximo Legislado. REC: recuperación. (s) Estos ensayos han sido subcontratados.

Información de toma de muestras aportada por quien la realiza. El laboratorio no se hace responsable de la información aportada por el cliente, estando indicada por #.

El LMR informado aplica a la definición de residuos completa y no en el caso que se indique solo metabolito.

Dado que los LMR y LML cambian continuamente, el cliente comprende que este dato no es responsabilidad de LABORATORIO AGRAMA SL y debe confirmarlo en la legislación vigente.

Anexo III – Análise de água da parcela Vale Queimado



Las actividades marcadas con un * no están amparadas por la acreditación de ENAC Nº423/LE838 Nº423/LE1170.

INFORME ANALÍTICO Nº 000474708GEN-A01-002

#CLIENTE:	HORTOFRUTICOLAS CAMPELOS SA		
#DIRECCION:	Rua de Santa Marta, nº5 1 Esq 2080 – 346 Benfica do Ribatejo Portugal		
Nº DE MUESTRA:	000474708	#MATERIAL:	Agua continental para riego
#REFERENCIA:	T70_VALE QUEIMADO		
#INFORMACIÓN ADICIONAL:			
OBSERVACIONES:	Tiempo desde la toma de muestra inadecuado para algunos parámetros según la información de toma de muestras disponible en nuestra web (registros FPDC09-01 y FPDC09-02). Los resultados pueden verse afectados.		
DESCRIPCION:	Muestra en envase cerrado, no precintado.		
CANTIDAD APROX.:	2.5L	ENVASE:	Plástico estéril
* TOMA MUESTRA:	Cliente	* FECHA/HORA TOMA MUESTRA:	30/05/2023 No aportada por el cliente
FECHA/HORA RECEPCIÓN:	05/06/2023 14:02:00	FECHA INICIO:	05/06/2023
		FECHA FIN:	09/06/2023

Interpretaciones

Parámetro	Valoración	
Aniones		
* Bicarbonatos	Ligera a moderada restricción de uso	La calidad del agua en la agricultura. FAD (University of California Cooperative Extension, 2016).
* Cloruros	Ninguna restricción de uso	La calidad del agua en la agricultura. FAD (University of California Cooperative Extension, 2016).
Índices		
* R.A.S. corregido	Ligera a moderada restricción de uso	Calidad del agua en la agricultura. Universidad de Valencia.
Propiedades fisicoquímicas		
* pH a 25°C	Valor normal	La calidad del agua en la agricultura. FAD (University of California Cooperative Extension, 2016).
Propiedades químicas		
* Conductividad eléctrica a 25°C	Ninguna restricción de uso	La calidad del agua en la agricultura. FAD (University of California Cooperative Extension, 2016).

INFORME ANALÍTICO Nº 000474708GEN-A01-002

Parámetro	Resultado	U	% Rec	LC	Unidad	Método	Técnica
Aniones							
Bicarbonatos	2.19	0.46		0.082	meq/l	PEE03	Titulación potenciométrica
	134			5.00	mg/l		
	2.19			0.082	mmol/l		
Carbonatos	< 0.17			0.17	meq/l	PEE03	Titulación potenciométrica
	< 5.11			5.11	mg/l		
	< 0.085			0.085	mmol/l		
* Cloruros	1.61			0.56	meq/l	PEE104	Cromatografía iónica
	57.3			19.9	mg/l		
	1.61			0.56	mmol/l		
* Nitratos	< 0.081			0.081	meq/l	PEE104	Cromatografía iónica
Cationes							
* Calcio disuelto	< 1.00			1.00	meq/l	PEE104	Cromatografía iónica
	< 20.0			20.0	mg/l		
	< 0.50			0.50	mmol/l		
* Magnesio disuelto	0.55			0.41	meq/l	PEE104	Cromatografía iónica
	6.65			4.98	mg/l		
	0.27			0.21	mmol/l		
* Sodio disuelto	3.52			0.43	meq/l	PEE104	Cromatografía iónica
	80.9			9.89	mg/l		
	3.52			0.43	mmol/l		
Índices							
* R.A.S. corregido	4.41					Cálculo	Cálculo
Microelementos							
Boro	< 0.10			0.10	mg/l	PEE09	Espectrofotometría UV Vis
Propiedades fisicoquímicas							
pH a 25°C	7.4	0.2		2.0		PEE01	Potenciometría
Propiedades químicas							
Conductividad eléctrica a 25°C	414	62		50.0	µS/cm	PEE02	Conductimetría

La toma de muestras, comentarios y valoraciones están fuera del alcance de acreditación de ENAC Nº423/LE838 Nº423/LE1170.

INFORME ANALÍTICO Nº 000474708GEN-A01-002

Observaciones: El laboratorio da fe de los resultados de la muestra recepcionada. Este informe no puede reproducirse, más que en su totalidad, sin autorización por escrito del laboratorio. La incertidumbre estimada (U), en métodos cuantitativos, es para un nivel de confianza del 95% (k=2), expresada en valor absoluto. En caso de no indicarse en el informe, se encuentra estimada y a disposición del cliente. La incertidumbre debida al muestreo no se encuentra incluida dentro de la incertidumbre informada del ensayo.

Si no se indica lo contrario, los resultados de los parámetros analizados no han sido corregidos con factores de recuperación.

LC: límite de cuantificación, LML: Límite Máximo Legislado, REC: recuperación. (s) Estos ensayos han sido subcontratados

Información de toma de muestras aportada por quien la realiza. El laboratorio no se hace responsable de la información aportada por el cliente, estando indicada por #.

El LMR informado aplica a la definición de residuos completa y no en el caso que se indique solo metabolito.

Dado que los LMR y LML cambian continuamente, el cliente comprende que este dato no es responsabilidad de LABORATORIO AGRAMA SL y debe confirmarlo en la legislación vigente.



Jefe Área Inorgánica

Elisa Ridao Ridao



Sevilla, 12 de Junio de 2023

Director Técnico



Francisco Hierro del Castillo

Laboratorio agroganadero autorizado con el nº 41/07/PR/PSX y acreditado para análisis de materias activas y residuos de productos zoonutricionales y fitosanitarios y control de Calidad de abonos y Compost por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía.

Laboratorio agroalimentario designado para la realización de análisis para control oficial en el ámbito de la producción ecológica.

Laboratorio designado por el Ministerio de Sanidad como laboratorio de control oficial de productos alimenticios y materiales en contacto con los alimentos procedentes de terceros países.

Anexo IV – Análise de variância e Teste *t Student* para a largura das plantas (40, 60, 80 e 100 DAP)

40 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	85,6	82,8
Variância	0,637	2,178
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,293	
P(F<=f) uni-caudal	0,041	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	85,6	82,8
Variância	0,637	2,178
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	14	
Stat t	5,278	
P(T<=t) uni-caudal	0,000	
t crítico uni-caudal	1,761	
P(T<=t) bi-caudal	0,000	
t crítico bi-caudal	2,145	

60 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	143,0	136,8
Variância	9,926	5,660
Observações	10	10
gl	9	9
F	1,754	
P(F<=f) uni-caudal	0,208	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	143,0	136,8
Variância	9,926	5,660
Observações	10	10
Variância agrupada	7,793	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	4,939	
P(T<=t) uni-caudal	0,000	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,000	
t crítico bi-caudal	2,101	

80 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	153,1	146,4
Variância	2,662	2,604
Observações	10	10
gl	9	9
F	1,022	
P(F<=f) uni-caudal	0,487	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	153,1	146,4
Variância	2,662	2,604
Observações	10	10
Variância agrupada	2,633	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	9,233	
P(T<=t) uni-caudal	0,000	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,000	
t crítico bi-caudal	2,101	

100 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	160,8	158,0
Variância	3,907	0,840
Observações	10	10
gl	9	9
F	4,654	
P(F<=f) uni-caudal	0,016	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	35,4	34,0
Variância	0,859	0,444
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	16	
Stat t	3,877	
P(T<=t) uni-caudal	0,001	
t crítico uni-caudal	1,746	
P(T<=t) bi-caudal	0,001	
t crítico bi-caudal	2,120	

Anexo V – Análise de variância e Teste *t Student* para a altura das plantas (40, 60, 80 e 100 DAP)

40 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	47,9	43,5
Variância	4,767	0,770
Observações	10	10
gl	9	9
F	6,1875	
P(F<=f) uni-caudal	0,006	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	47,9	43,5
Variância	4,767	0,770
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	5,868	
P(T<=t) uni-caudal	0,000	
t crítico uni-caudal	1,782	
P(T<=t) bi-caudal	0,000	
t crítico bi-caudal	2,179	

60 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	52,3	48,3
Variância	4,925	1,501
Observações	10	10
gl	9	9
F	3,280	
P(F<=f) uni-caudal	0,046	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	52,3	48,3
Variância	4,925	1,501
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	14	
Stat t	5,031	
P(T<=t) uni-caudal	0,000	
t crítico uni-caudal	1,761	
P(T<=t) bi-caudal	0,000	
t crítico bi-caudal	2,145	

80 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	44,3	39,4
Variância	0,752	1,665
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,451445515	
P(F<=f) uni-caudal	0,125898609	
F crítico uni-caudal	0,314574906	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	44,3	39,4
Variância	0,752	1,665
Observações	10	10
Variância agrupada	1,209	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	10,034	
P(T<=t) uni-caudal	0,000	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,000	
t crítico bi-caudal	2,101	

100 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	35,4	34,0
Variância	0,859	0,444
Observações	10	10
gl	9	9
F	1,933	
P(F<=f) uni-caudal	0,170	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	35,4	34,0
Variância	0,859	0,444
Observações	10	10
Variância agrupada	0,652	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	3,877	
P(T<=t) uni-caudal	0,001	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,001	
t crítico bi-caudal	2,101	

Anexo VI – Análise de variância e Teste *t Student* para o azoto foliar (40, 60, 80 e 100 DAP)

40 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	7790	5920
Variância	185444,444	197333,333
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,940	
P(F<=f) uni-caudal	0,464	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	7790	5920
Variância	185444,444	197333,333
Observações	10	10
Variância agrupada	191388,889	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	9,558	
P(T<=t) uni-caudal	0,000	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,000	
t crítico bi-caudal	2,101	

60 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	6160	4930
Variância	307111,111	1413444,444
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,217	
P(F<=f) uni-caudal	0,016	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	6160	4930
Variância	307111,111	1413444,444
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	13	
Stat t	2,965	
P(T<=t) uni-caudal	0,005	
t crítico uni-caudal	1,771	
P(T<=t) bi-caudal	0,011	
t crítico bi-caudal	2,160	

80 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	2670	2180
Variância	764555,556	126222,222
Observações	10	10
gl	9	9
F	6,057	
P(F<=f) uni-caudal	0,007	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	2670	2180
Variância	764555,556	126222,222
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	1,642	
P(T<=t) uni-caudal	0,063	
t crítico uni-caudal	1,782	
P(T<=t) bi-caudal	0,127	
t crítico bi-caudal	2,179	

100 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	1880	1700
Variância	215111,111	93333,333
Observações	10	10
gl	9	9
F	2,305	
P(F<=f) uni-caudal	0,115	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	1880	1700
Variância	215111,111	93333,333
Observações	10	10
Variância agrupada	154222,222	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	1,025	
P(T<=t) uni-caudal	0,159	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,319	
t crítico bi-caudal	2,101	

Anexo VII – Análise de variância e Teste t Student para o potássio foliar (40, 60, 80 e 100 DAP)

40 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	4390	3970
Variância	54333,333	213444,444
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,255	
P(F<=f) uni-caudal	0,027	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	4390	3970
Variância	54333,333	213444,444
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	13	
Stat t	2,567	
P(T<=t) uni-caudal	0,012	
t crítico uni-caudal	1,771	
P(T<=t) bi-caudal	0,023	
t crítico bi-caudal	2,160	

60 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	3510	2830
Variância	285444,444	320111,111
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,892	
P(F<=f) uni-caudal	0,434	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	3510	2830
Variância	285444,444	320111,111
Observações	10	10
Variância agrupada	302777,778	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	2,763	
P(T<=t) uni-caudal	0,006	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,013	
t crítico bi-caudal	2,101	

80 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	2170	1620
Variância	275666,667	579555,556
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,476	
P(F<=f) uni-caudal	0,142	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	2170	1620
Variância	275666,667	579555,556
Observações	10	10
Variância agrupada	427611,111	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	1,881	
P(T<=t) uni-caudal	0,038	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,076	
t crítico bi-caudal	2,101	

100 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	1800	1139
Variância	331111,111	78254,444
Observações	10	10
gl	9	9
F	4,231	
P(F<=f) uni-caudal	0,021	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias
desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	1800	1139
Variância	331111,111	78254,444
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	13	
Stat t	3,267	
P(T<=t) uni-caudal	0,003	
t crítico uni-caudal	1,771	
P(T<=t) bi-caudal	0,006	
t crítico bi-caudal	2,160	

Anexo VIII – Análise de variância e Teste t Student para o cálcio foliar (40, 60, 80 e 100 DAP)

40 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	475	459
Variância	9916,667	12210
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,812	
P(F<=f) uni-caudal	0,381	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	475	459
Variância	9916,667	12210
Observações	10	10
Variância agrupada	11063,333	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	0,340	
P(T<=t) uni-caudal	0,369	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,738	
t crítico bi-caudal	2,101	

60 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	512	501
Variância	15995,556	15143,333
Observações	10	10
gl	9	9
F	1,056	
P(F<=f) uni-caudal	0,468	
F crítico uni-caudal	3,179	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	512	501
Variância	15995,556	15143,333
Observações	10	10
Variância agrupada	15569,444	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	0,197	
P(T<=t) uni-caudal	0,423	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,846	
t crítico bi-caudal	2,101	

80 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	747	874
Variância	14490	56004,444
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,259	
P(F<=f) uni-caudal	0,028	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	747	874
Variância	14490	56004,444
Observações	10	10
Hipótese de diferença de média	0	
gl	13	
Stat t	-1,513	
P(T<=t) uni-caudal	0,077	
t crítico uni-caudal	1,771	
P(T<=t) bi-caudal	0,154	
t crítico bi-caudal	2,160	

100 DAP

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	1287	1768
Variância	182801,111	250684,444
Observações	10	10
gl	9	9
F	0,729	
P(F<=f) uni-caudal	0,323	
F crítico uni-caudal	0,315	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	1287	1768
Variância	182801,111	250684,444
Observações	10	10
Variância agrupada	216742,7778	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	18	
Stat t	-2,310	
P(T<=t) uni-caudal	0,016	
t crítico uni-caudal	1,734	
P(T<=t) bi-caudal	0,033	
t crítico bi-caudal	2,101	

Anexo IX – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos de categoria A (vermelhos) – *Shaking test*

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	216,2	187
Variância	431,694	1314,75
Observações	9	9
gl	8	8
F	0,328	
P(F<=f) uni-caudal	0,068	
F crítico uni-caudal	0,291	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero</i> <i>X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	216,2	187
Variância	431,694	1314,75
Observações	9	9
Variância agrupada	873,222	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	16	
Stat t	2,098	
P(T<=t) uni-caudal	0,026	
t crítico uni-caudal	1,746	
P(T<=t) bi-caudal	0,052	
t crítico bi-caudal	2,120	

Anexo X – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos de categoria B (laranjas) – *Shaking test*

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	40,4	33,4
Variância	140,028	99,028
Observações	9	9
gl	8	8
F	1,414	
P(F<=f) uni-caudal	0,318	
F crítico uni-caudal	3,438	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	40,4	33,4
Variância	140,028	99,028
Observações	9	9
Variância agrupada	119,528	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	16	
Stat t	1,358	
P(T<=t) uni-caudal	0,097	
t crítico uni-caudal	1,746	
P(T<=t) bi-caudal	0,193	
t crítico bi-caudal	2,120	

Anexo XI – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos de categoria C (verdes) – *Shaking test*

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	60,3	44,0
Variância	1504,5	372,75
Observações	9	9
gl	8	8
F	4,036	
P(F<=f) uni-caudal	0,033	
F crítico uni-caudal	3,438	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	60,3	44
Variância	1504,5	372,75
Observações	9	9
Hipótese de diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	1,131	
P(T<=t) uni-caudal	0,140	
t crítico uni-caudal	1,782	
P(T<=t) bi-caudal	0,280	
t crítico bi-caudal	2,179	

Anexo XII – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos com podridão apical – *Shaking test*

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	3,6	1,4
Variância	8,528	5,278
Observações	9	9
gl	8	8
F	1,616	
P(F<=f) uni-caudal	0,256	
F crítico uni-caudal	3,438	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	3,6	1,4
Variância	8,528	5,278
Observações	9	9
Variância agrupada	6,903	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	16	
Stat t	1,705	
P(T<=t) uni-caudal	0,054	
t crítico uni-caudal	1,746	
P(T<=t) bi-caudal	0,108	
t crítico bi-caudal	2,120	

Anexo XIII – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos esmagados – *Shaking test*

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	5,4	3,3
Variância	17,028	4
Observações	9	9
gl	8	8
F	4,257	
P(F<=f) uni-caudal	0,028	
F crítico uni-caudal	3,438	

Teste T: duas amostras com variâncias desiguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	5,4	3,3
Variância	17,028	4
Observações	9	9
Hipótese de diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	1,381	
P(T<=t) uni-caudal	0,096	
t crítico uni-caudal	1,782	
P(T<=t) bi-caudal	0,192	
t crítico bi-caudal	2,179	

Anexo XIV – Análise de variância e Teste t Student para o número de frutos comercializáveis (Tomate A e B) – *Shaking test*

Teste F: duas amostras para variâncias

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	256,7	220,4
Variância	854,25	1671,778
Observações	9	9
gl	8	8
F	0,511	
P(F<=f) uni-caudal	0,181	
F crítico uni-caudal	0,291	

Teste T: duas amostras com variâncias iguais

	<i>Polímero X</i>	<i>Testemunha</i>
Média	256,7	220,4
Variância	854,25	1671,778
Observações	9	9
Variância agrupada	1263,014	
Hipótese de diferença de média	0	
gl	16	
Stat t	2,162	
P(T<=t) uni-caudal	0,023	
t crítico uni-caudal	1,746	
P(T<=t) bi-caudal	0,046	
t crítico bi-caudal	2,120	