



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

João Diogo Amorim Pinto

Avaliação do controlo biológico do nemátode-das-galhas-radiculares
pelo fungo *Pochonia chlamydosporia* na cultura protegida
de tomate enxertado e não enxertado

Mestrado em Agricultura Biológica

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professora Doutora Isabel de Maria Cardoso Gonsalves Mourão

Professora Doutora Maria Luísa Roldão Marques de Moura

Julho 2024

As doutrinas expressas neste trabalho são da exclusiva
responsabilidade do autor

ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1.1. Cultura do tomateiro.....	1
1.1.1. Importância económica da cultura de tomate e tendências do consumo	1
1.1.2. Práticas culturais	4
1.1.2.1. Condução e tutoragem.....	4
1.1.2.2. Poda em verde	5
1.1.2.3. Proteção fitossanitária	5
1.1.2.4. Polinização da cultura	6
1.1.2.5. Rega da cultura.....	7
1.2. Nemátodes-das-galhas-radiculares <i>Meloidogyne</i> spp.....	7
1.2.1. Ciclo da doença e patogenicidade.....	8
1.2.2. Distribuição e importância económica na cultura de tomate	9
1.2.3. Efeitos no crescimento e na fisiologia do tomateiro.....	10
1.2.4. Métodos de controlo da doença	11
1.3. Fungo nematófago <i>Pochonia chlamydosporia</i>	12
1.3.1. Ciclo da doença e patogenicidade.....	12
1.3.2. Utilização no controlo biológico de nemátodes.....	13
1.4. Enxertia em culturas hortícolas	14
1.4.1. Objetivos da enxertia em culturas hortícolas	15
1.4.2. Enxertia na cultura de tomate (produtividade e qualidade)	16

1.4.3. Enxertia como técnica de controlo de <i>Meloidogyne</i> spp.	17
1.5. Objetivos do trabalho	18
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.1. Localização do ensaio	19
2.2. Condições de temperatura durante o ensaio.....	20
2.3. Solos.....	21
2.4. Material vegetal	22
2.5. Desenho experimental.....	22
2.6. Instalação da cultura	24
2.7. Fertirrega.....	24
2.8. Polinização da cultura	25
2.9. Rega da cultura	26
2.10. Inoculação do fungo <i>Pochonia chlamydosporia</i> no solo.....	26
2.11. Avaliação ao desenvolvimento das plantas de tomate.....	27
2.12. Avaliação das características de qualidade dos frutos	27
2.13. Avaliação estatística dos resultados.....	28
3. RESULTADOS	29
3.1. Desenvolvimento das plantas.....	29
3.2. Produtividade das culturas de tomate	29
3.3. Calibre dos frutos.....	32
3.4. Matéria seca dos frutos	33
3.5. Firmeza, sólidos solúveis, pH e acidez titulável dos frutos.....	34
3.6. Aspetos Económicos da produção	36
4. DISCUSSÃO	38
4.1. Produtividade dos porta enxertos.....	38
4.2. Qualidade dos frutos	38
5. CONCLUSÕES	41

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	49

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo.

Um agradecimento especial à Professora Doutora Isabel Mourão pelo enorme apoio, disponibilidade e paciência ao longo desta muito longa jornada académica.

À Professora Doutora Luísa Moura pela disponibilidade e compreensão.

À Doutora Sofia Rocha pela oportunidade de participar no projeto COCOON e por todos os ensinamentos.

A todos os colegas do projeto COCOON.

Aos colegas do MAB.

À família e aos amigos.

Obrigado.

RESUMO

Os nemátodes-das-galhas-radiculares (NGR), *Meloidogyne* spp., são parasitas obrigatórios de elevado impacto económico a nível mundial e provocam danos quantitativos e qualitativos na produção agrícola, sobretudo nas culturas hortícolas. Sendo a cultura do tomateiro, *Solanum lycopersicum*, uma das culturas hortícolas mais importantes a nível mundial, onde este é considerado um hospedeiro universal, suscetível ao ataque por parte desta doença, podendo ocorrer quebras de produção muito significativas, é fulcral o desenvolvimento de medidas de proteção da cultura.

O controlo de NGR é realizado com recurso a aplicação de nematodocidas, os quais têm vindo a ser progressivamente restringidos devido à elevada toxicidade que apresentam, para além de serem proibidos em agricultura biológica. Assim, têm sido desenvolvidas técnicas e aplicações sustentadas por investigação científica, com destaque para o uso de auxiliares e técnicas culturais.

O sucesso do fungo *Pochonia chlamydosporia* no controlo de populações de NGR, depende de um bom estabelecimento do fungo no solo e, sobretudo, da capacidade de colonização da rizosfera da cultura a proteger. Por outro lado, a enxertia constitui uma prática utilizada há muitas décadas em diversas culturas, e tem gerado resultados promissores e sustentáveis em culturas hortícolas, através da utilização de porta-enxertos tolerantes/resistentes. Este estudo tem como objetivo a experimentação da junção de meios de luta biológicos e práticas agrícolas sustentáveis – enxertia e introdução do fungo nematófago.

O ensaio foi realizado numa estufa sinalizada como estando contaminada com NGR no Litoral NW Portugal, para testar a aplicação combinada de ambas as estratégias. Plantas de tomate da cv. ‘Coração de Boi’, não enxertada ou enxertada no porta-enxerto Embajador, foram plantadas em solo não inoculado ou em parcelas inoculadas com clamidósporos de *P. chlamydosporia* (150 x 105/planta), num desenho experimental com 4 tratamentos e 3 blocos casualizados. Foram avaliados os efeitos na produção e na qualidade dos frutos.

A produtividade aumentou significativamente e a matéria seca dos frutos diminuiu nas plantas enxertadas (16,4 kg m⁻², 5,0%), em comparação com as plantas não enxertadas (13,4 kg m⁻², 5,4%), mas a inoculação com o fungo não influenciou nenhum destes parâmetros. O calibre dos frutos foi semelhante para todos os tratamentos, embora a

percentagem de peso dos frutos maiores (≥ 102 mm) tenha sido tendencialmente maior nas plantas enxertadas (31,3 %), em comparação com as plantas não enxertadas (19,7%).

Não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos para a firmeza, acidez e pH dos frutos. No entanto, onde não se procedeu à inoculação do fungo, as plantas não enxertadas produziram frutos mais doces (4,9° Brix) em comparação com todos os tratamentos, e, no solo inoculado, as plantas não enxertadas apresentaram frutos com teores mais elevados de sólidos solúveis, em comparação com as plantas enxertadas.

Palavras-chave: Controlo biológico, enxertia, *Meloidogyne* spp., cultura do tomateiro, *Pochonia chlamydosporia*.

ABSTRACT

Root-knot-nemátodes (RKN), *Meloidogyne* spp., are obligate parasites with high economic impact throughout the world and cause quantitative and qualitative damage to agricultural production, especially horticultural crops. As the tomato crop, *Solanum lycopersicum*, is one of the most important horticultural crops worldwide, where it is considered a universal host, susceptible to attack by this disease, with high potential yield losses, it is essential to develop measures to crop protection.

RKN control is carried out using nematocides, which have been progressively restricted due to their high toxicity, in addition to being prohibited in organic agriculture. Thus, techniques and applications supported by scientific research have been developed, with an emphasis on the use of cultural practices and biocontrol agents.

The success of the fungus *Pochonia chlamydosporia* in controlling RKN populations depends on a good establishment of the fungus in the soil and, above all, on the ability to colonize the rhizosphere of the crop to be protected. On the other hand, grafting is a practice used for many decades in various crops, and has generated promising and sustainable results in vegetable crops, through the use of tolerant/resistant rootstocks. This study aims to study the combination of biological control with nematophagous fungus and sustainable agricultural practices by grafting.

The trial was carried out in a greenhouse contaminated with RKN on the NW Coast of Portugal, to test the combined application of both strategies. Tomato plants of cv. 'Coração de Boi', not grafted or grafted on the Embajador rootstock, were planted in non-inoculated soil or in plots inoculated with *P. chlamydosporia* chlamydospores (150 x 105/plant), in an experimental design with 4 treatments and 3 randomized blocks. The effects on fruit production and quality were evaluated.

Yield increased significantly and fruit dry matter decreased in grafted plants (16.4 kg m⁻², 5.0%) compared to non-grafted plants (13.4 kg m⁻², 5.4%), but inoculation with the fungus did not influence any of these parameters. Fruit size was similar for all treatments, although the weight percentage of larger fruits (≥ 102 mm) seemed to be higher in grafted plants (31.3%) compared to nongrafted plants (19.7%).

There were no significant differences between treatments for fruit firmness, acidity and pH. However, where fungus inoculation was not carried out, nongrafted plants produced

sweeter fruits (4.9° Brix) compared to all treatments, and, in the inoculated soil, non-grafted plants produced fruits with higher soluble solids contents, compared to grafted plants.

Keywords: Biological Control, Grafting, Root-knot Nemátode, Tomato culture, *Pochonia chlamydosporia*.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

cv. – Cultivar

MS – Matéria seca

NGR – Nemátodes-das-galhas-radiculares

p.e. – Porta enxerto

Pf – Peso fresco

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

DAP – Dias após plantação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Área de produção e quantidade (kg) de tomate em 2022 (FAO, 2022)	1
Figura 1.2 – Principais países produtores de tomate em 2022 (FAOSTAT, 2022).	2
Figura 1.3 - Área e produção de tomate a nível mundial nos últimos 10 anos (2012-2022) (FAOSTAT, 2022)	3
Figura 1.4 - Área de produção e quantidade produzida de tomate em Portugal entre 2012 e 2022 (FAO, 2022)	3
Figura 1.5 - Resumo ilustrativo do ciclo de vida dos nemátodes das galhas radiculares (Mitkowski e Abawi, 2011)	9
Figura 2.1 - Fotografia aérea da estufa e sinalização exata do local do ensaio (Imagem aérea retirada do Google Maps).	19
Figura 2.2 - Esquema da estufa localizada na Apúlia, onde decorreu o ensaio.	20
Figura 2.3 - Boletim de análise do solo do local do ensaio	22
Figura 2.4 - Esquema do ensaio, com a localização dos tratamentos descritos no quadro 2.1.	23
Figura 2.5 - Mapa de nutrição (fertirrega) elaborado pelo técnico responsável Davide Sousa, para a fase vegetativa	24
Figura 2.6 - Mapa de nutrição (fertirrega) elaborado pelo técnico responsável Davide Sousa, para a fase de produção.	25
Figura 3.1 - Número de flores presentes em 6 hastes de tomateiros, 49, 57 e 62 dias após a plantação (DAP), e números de frutos vingados presentes 62 DAP, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo <i>P. chlamydosporia</i> . Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).	29
Figura 3.2 -(a) Número total de frutos (m^{-2}); (b) produtividade ($kg\ m^{-2}$) para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo <i>P. chlamydosporia</i> e (c) produtividade ($kg\ m^{-2}$) para os tratamentos em conjunto de plantas não enxertada e enxertadas. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).	30
Figura 3.3 - Número de frutos acumulados (m^{-2}), durante o período da colheita (07/05 a 15/07/2019), para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo <i>P. chlamydosporia</i> .	31

- Figura 3.4 - Peso fresco acumulado (kg m⁻²), durante o período da colheita (20/8 a 4/10/2018), para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. 31
- Figura 3.5 - Número de frutos de tomate (m⁻²), para frutos com calibre 57-66, 67-81, 82-102 e ≥ 102 mm, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). 32
- Figura 3.6 - Peso fresco do tomate (kg m⁻²), para frutos com calibre 57-66, 67-81, 82-102 e ≥ 102 mm, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). 32
- Figura 3.7 - Percentagem do peso fresco dos frutos para os calibres 57-66, 67-81, 82-102 e ≥ 102 mm, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). 33
- Figura 3.8 - Valor médio da percentagem de matéria seca para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). 34
- Figura 3.9 - Percentagem de matéria seca dos frutos, 132, 147 e 170 dias após a plantação, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. 34
- Figura 3.10 - Valores médios da firmeza (kg), total de sólidos solúveis (°Brix), pH e acidez titulável (g 100g Pf⁻¹) dos frutos, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). 35
- Figura 3.11 - Firmeza (kg), total de sólidos solúveis (°Brix), pH e acidez titulável (g 100g Pf⁻¹), 132, 147 e 170 dias após a plantação, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. 36

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Tratamentos utilizados no ensaio, siglas e forma de condução	23
Quadro 2.2 - Programação cronológica da rega durante o ensaio	26
Quadro 3.1 - Variação do preço do tomate no Mercado da Região de Entre Douro e Minho (EDM) nas semanas de produção do ensaio	37
Quadro 3.2 -Preço das plantas utilizadas no ensaio	37

1. INTRODUÇÃO

1.1. Cultura do tomateiro

1.1.1. Importância económica da cultura de tomate e tendências do consumo

O tomateiro, *Solanum lycopersicum*, integra o género *Solanum*, da família das *Solanaceae*, que abrange mais de 3000 espécies distintas. Entre estas, são reconhecidas 13 espécies como *lycopersicum*, sendo que apenas a *S. lycopersicum* foi selecionada e cultivada ao longo dos anos. A cultura do tomateiro é originária da região dos Andes, na zona costeira ocidental da América do Sul, entre o Equador e o Chile (Costa e Heuvelink, 2005; Almeida, 2006). Foi no México que o tomateiro sofreu o processo de domesticação, sendo introduzido na Europa, principalmente na região italiana, no século XVI. A partir da Europa, o cultivo do tomateiro expandiu-se para os continentes asiático e africano (Dam *et al.*, 2005).

O tomate desempenha um papel crucial na economia agrícola mundial, sendo uma das culturas mais produzidas e comercializadas. Segundo dados da FAOSTAT, a produção mundial de tomate atingiu aproximadamente 187 milhões de toneladas em 2022, oriunda de mais de 5 milhões de hectares (Fig. 1.1), refletindo a enorme procura, tanto no mercado fresco, como no processamento industrial. Este consumo está relacionado, entre outros fatores, com a consolidação de redes de restaurante *fast - food* e *self-service*, que utilizam esta cultura hortícola nas formas processada e fresca (Carvalho e Pagliuca, 2007).

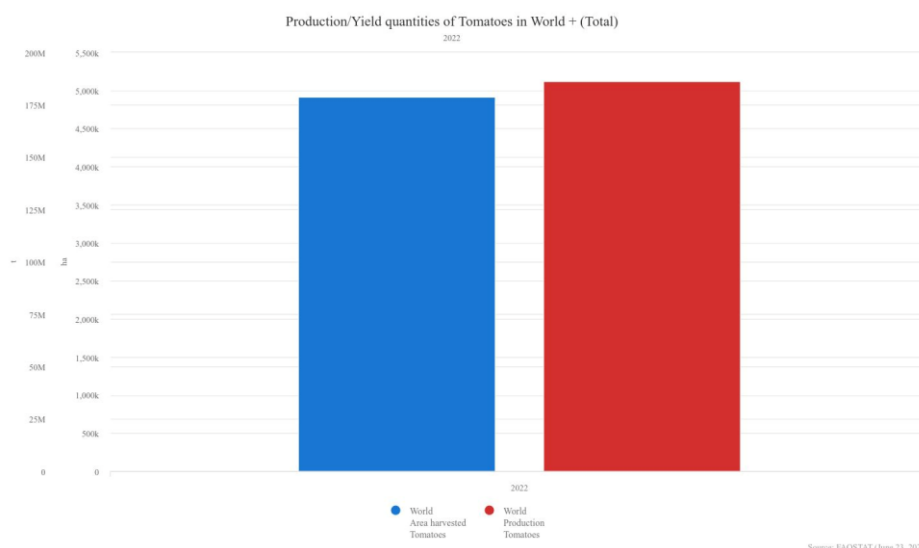


Figura 1.1 - Área de produção e quantidade (kg) de tomate em 2022 (FAO, 2022).

De acordo com a mesma fonte, destacam-se alguns países, nomeadamente a China, a Índia e Turquia, conforme se verifica na Figura 1.2.

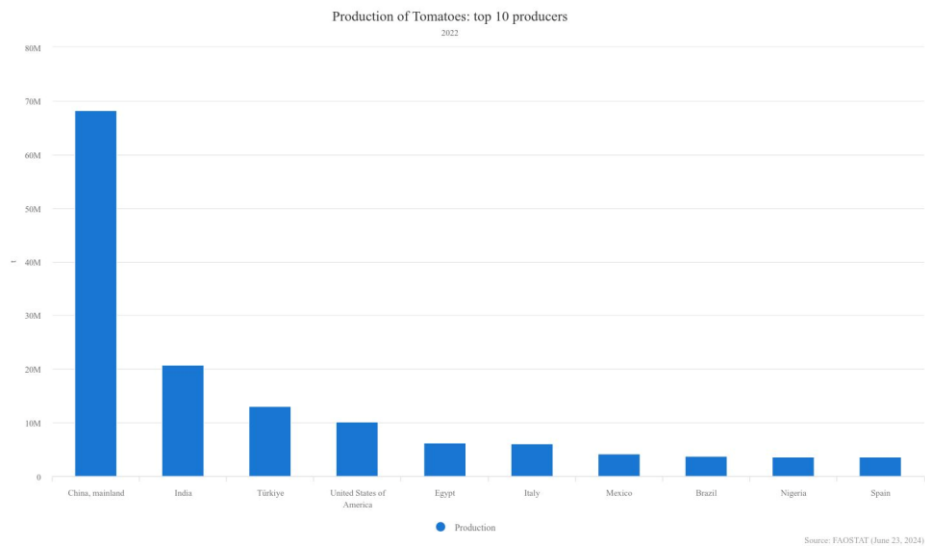


Figura 1.2 – Principais países produtores de tomate em 2022 (FAOSTAT, 2022).

Nos últimos 10 anos, nomeadamente entre o ano de 2012 e 2022, verifica-se um decréscimo de produção (Fig. 1.3). Este fenómeno surge devido ao período de pandemia COVID19, às alterações climáticas (FAO, 2021) e a questões políticas no âmbito da disponibilidade de apoios, assim como restrições comerciais (OECD, 2021). No entanto, constata-se também que o avanço tecnológico permite produzir mais quantidade com recurso a menos área (FAO, 2021).

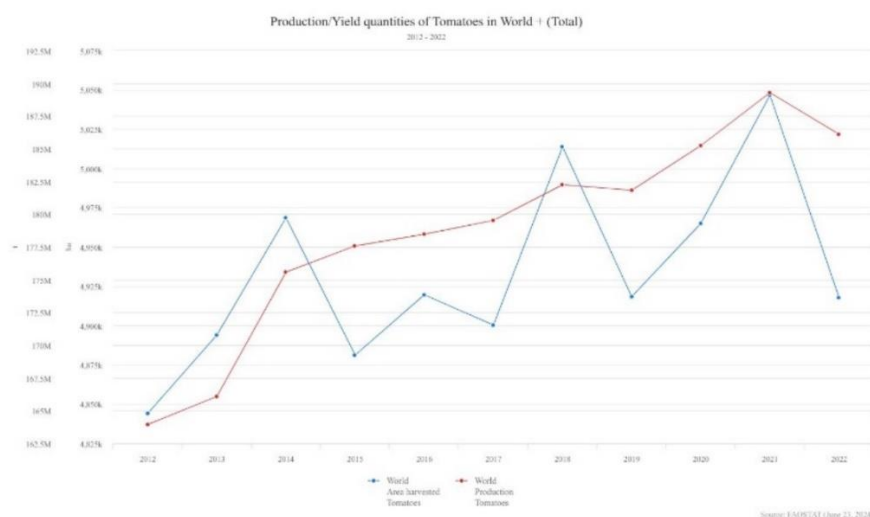


Figura 1.3 - Área e produção de tomate a nível mundial nos últimos 10 anos (2012-2022) (FAOSTAT, 2022).

Em Portugal, de acordo com as estatísticas agrícolas do ano 2022, a área cultivada para a produção de tomate foi de aproximadamente 15,2 mil hectares e a produção de tomate foi de aproximadamente 1,4 milhões de toneladas (Fig. 1.4). Esta quantidade representou uma redução de cerca de 19,7% em relação ao ano anterior (INE, 2022). Grande parte da produção é destinada ao processamento, nomeadamente a produção de polpa de tomate, molhos e concentrados (Silva *et al*, 2006)

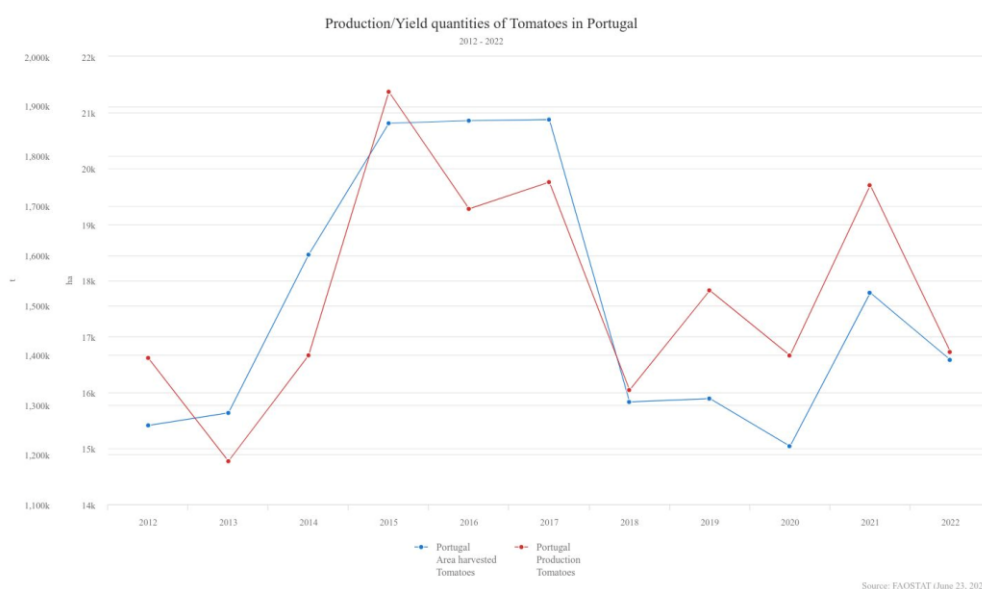


Figura 1.5 - Área de produção e quantidade produzida de tomate em Portugal entre 2012 e 2022 (FAO, 2022).

1.1.2. Práticas culturais

A eficácia da atividade agrícola encontra-se inerente a práticas culturais agrícolas, as quais abrangem um conjunto diversificado de técnicas utilizadas para promover o crescimento saudável das culturas e otimizar a produção destas. Estas práticas estão presentes durante todo o processo de cultivo, desde a preparação inicial do solo até a colheita final, e incluem atividades como o controlo da rega, a aplicação de fertilizantes, controlo de pragas e doenças, técnicas de plantação e colheita, além de estratégias para a conservação do solo e da água (Tilman *et al.*, 2002; Steduto *et al.*, 2012; Brady e Weil, 2016).

Através da adaptação às condições específicas e ambientais do local de cultivo, a melhoria da eficiência produtiva e sustentabilidade ambiental das operações agrícolas constituem os principais objetivos das práticas culturais (Altieri, 1995). Estas são fulcrais, não apenas para a maximização da produtividade, mas para a mitigação de impactos ambientais adversos, associados à agricultura intensiva (Gliessman, 2007).

Na cultura do tomateiro destacam-se as seguintes práticas culturais: condução e tutoragem, poda em verde, proteção fitossanitária, polinização e rega da cultura.

1.1.2.1. Condução e tutoragem

A condução envolve a orientação do crescimento da planta de forma a maximizar a exposição solar e melhorar a circulação de ar, o que é crucial para a prevenção de doenças fúngicas e bacterianas. A tutoragem, por sua vez, consiste no uso de suportes como estacas e fios para manter as plantas eretas e os frutos distantes do solo, prevenindo podridões, contaminações e facilitando a aplicação de tratamentos fitossanitários e a colheita (Peet e Welles, 2005; Gullino *et al.*, 2010).

Os métodos de tutoragem variam de acordo com o tipo de planta: determinada ou indeterminada. Nos tomateiros indeterminados, que possuem crescimento contínuo, é comum o uso de estacas ou fios verticais que permitem o desenvolvimento em altura, sendo necessário a troca destes equipamentos ao longo da frutificação (Dorais, 2001). Já para tomateiros determinados, que têm um crescimento mais limitado, pode utilizar-se estacas mais baixas ou sistemas de tutoragem horizontal. Além disso, a prática da poda é frequentemente associada à condução e tutoragem, removendo brotações laterais indesejadas, com o objetivo de concentrar os recursos da planta nos frutos principais,

visando uma produção de frutos de maior qualidade e tamanho uniforme (Heuvelink, 2005).

1.1.2.2. Poda em verde

A poda em verde consiste na remoção seletiva de partes da planta, como brotos laterais, folhas velhas ou doentes, e por vezes até flores, durante a fase de crescimento ativo da planta, com o objetivo de melhorar a ventilação e a exposição solar das folhas e frutos, reduzir a incidência de doenças e direcionar os recursos da planta para o desenvolvimento dos frutos principais (Heuvelink, 2005). A remoção dos brotos laterais, conhecidos como "ladrões", é fulcral, especialmente em variedades indeterminadas, pois estes brotos competem por nutrientes e energia com os frutos principais. Esta prática é geralmente realizada semanalmente, para evitar que os ladrões cresçam demasiado e exijam uma remoção mais drástica, o que pode induzir a planta em stress (Peet e Welles, 2005).

Esta prática cultural influencia o microclima junto da planta, reduzindo a humidade relativa e, consequentemente, a pressão de doenças fúngicas como o míldio (Jones, 2013). A retirada das folhas mais velhas, especialmente aquelas próximas ao solo, ajuda a minimizar a transmissão de patógenos e melhora a circulação de ar, fator crucial em ambientes de cultivo protegido, como estufas (Dorais, 2001). Em alguns sistemas de cultivo, a desfolha parcial das plantas durante a fase de amadurecimento dos frutos é realizada para acelerar a maturação e melhorar a coloração dos tomates, uma prática que deve ser cuidadosamente manejada, de modo a evitar exposição excessiva dos frutos ao sol e, assim, prevenir danos por escaldão (Gullino *et al.*, 2010).

1.1.2.3. Proteção fitossanitária

A proteção fitossanitária da cultura do tomateiro abrange uma série de estratégias integradas para a prevenção de pragas e doenças. Esta prática cultural incide sobre a gestão integrada dos métodos biológicos, culturais, físicos e químicos, para minimizar o uso de pesticidas e reduzir os impactos ambientais (Altieri, 1995). A rotação de culturas e o uso de cultivares resistentes são práticas culturais importantes na redução da pressão de doenças e pragas específicas, ao longo do tempo (Brady & Weil, 2016). A monitorização regular e as inspeções detalhadas às plantas de tomateiro permitem antecipar problemas, possibilitando intervenções rápidas e eficazes (Jones, 2013).

Na cultura do tomateiro é bastante comum o aparecimento da mosca-branca (*Bemisia tabaci*), o aranhaço-amarelo (*Tetranychus urticae*) e a traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*).

No modo de produção biológico, estas pragas são combatidas com a introdução de predadores naturais, como *Encarsia formosa* e *Phytoseiulus persimilis*, e o uso de armadilhas adesivas e feromonas para monitorização e captura (Gullino *et al.*, 2010). No caso das doenças, o míldio (*Phytophthora infestans*) é particularmente devastador, sendo a gestão preventiva essencial, através da aplicação de fungicidas à base de cobre, extratos de plantas e microrganismos que aumentam a resistência das plantas (Steduto *et al.*, 2012).

Para somar às estratégias descritas anteriormente, a manutenção de boas práticas de higiene no campo, como a desinfecção de ferramentas e a remoção de restos de culturas infetadas, é fundamental para a prevenção da disseminação de patógenos (Heuvelink, 2005). A adoção de tecnologias de cultivo protegido, como estufas e túneis de plástico, também contribui para um ambiente de cultivo mais controlado, reduzindo a exposição a fatores externos, responsáveis pela introdução ou favorecimento do desenvolvimento de pragas e doenças (Dorais, 2001).

1.1.2.4. Polinização da cultura

Embora autopolinizadora, existem fatores externos à planta que podem influenciar a eficácia da polinização natural. As flores de tomate possuem estames que libertam pólen diretamente sobre o estigma da mesma flor, mas o movimento do ar, vibrações mecânicas ou a ação de polinizadores podem aumentar significativamente a eficiência desse processo (Heuvelink, 2005). Em estufas, a circulação do ar é demasiado limitada para assegurar uma polinização adequada, sendo bastante comum a introdução de abelhas sem ferrão (*Meliponini*) ou abelhões (*Bombus* spp.) (Hogendoorn *et al.*, 2006; Venturini *et al.*, 2017). Com o avanço tecnológico ao longo dos anos, foram surgindo técnicas como a vibração manual das plantas, utilizando dispositivos mecânicos, que promovem a libertação de pólen e a recetividade no estigma (D'Amato *et al.*, 2019). A temperatura e a humidade também desempenham papéis cruciais na viabilidade do pólen e na recetividade do estigma: condições de alta humidade podem promover doenças fúngicas que afetam as flores, enquanto temperaturas extremas podem inviabilizar o pólen (Peet *et al.*, 1998).

Portanto, a gestão eficaz da polinização envolve uma combinação de práticas que asseguram o movimento adequado do pólen, condições ambientais favoráveis e, quando necessário, a intervenção manual ou o uso de polinizadores suplementares para otimizar a produção (Rodriguez e Moreno, 1999).

1.1.2.5. Rega da cultura

A rega da cultura do tomateiro influencia significativamente o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas. A disponibilização da quantidade correta de água, atendendo às necessidades hídricas específicas das diferentes fases fenológicas do tomateiro funciona como técnica cultural (Steduto *et al.*, 2012). A irrigação deve ser ajustada conforme a capacidade de retenção de água do solo e as condições climáticas, garantindo que as plantas não sofram nem por excesso, nem por deficiência hídrica. O excesso de água pode levar à asfixia radicular e ao desenvolvimento de doenças como a podridão radicular e o míldio, enquanto a falta de água pode causar stress hídrico, resultando em menor crescimento vegetativo e frutificação irregular (Jones, 2013).

É frequente a utilização de rega gota a gota, pois permite a aplicação precisa de água diretamente na zona radicular, minimizando a evaporação e o desperdício de água (Dorais, 2001). Este método também facilita a fertirrigação, onde nutrientes dissolvidos são fornecidos simultaneamente com a água de irrigação, promovendo uma nutrição mais eficiente e equilibrada das plantas (Peet e Welles, 2005). A frequência e a quantidade de água aplicadas devem ser ajustadas conforme o estágio de desenvolvimento da planta; por exemplo, a fase de floração e frutificação requer um suprimento hídrico mais constante, para evitar a queda de flores e a rachadura dos frutos (Heuvelink, 2005).

A monitorização contínua do nível de humidade do solo, com recurso a tensiómetros e sensores, é essencial na otimização da rega (Steduto *et al.*, 2012). Estudos mostram que a rega deficitária controlada, onde se aplica água em volumes menores que a capacidade total do campo, pode ser benéfica em determinadas fases do desenvolvimento do tomateiro, melhorando a eficiência do uso da água e a qualidade dos frutos, sem comprometer significativamente o rendimento (Patanè *et al.*, 2011).

1.2. Nemátodes-das-galhas-radiculares *Meloidogyne* spp.

Os nemátodes-das-galhas-radiculares, NGR, relatados pela primeira vez em 1855 por Berkeley na cultura do pepino (Mitkowski e Abawi, 2003), pertencem ao género *Meloidogyne* e afetam uma vasta gama de culturas agrícolas, incluindo a cultura do tomateiro, constituindo um dos nemátodes fitoparasitas mais importantes a nível mundial (Nicol *et al.*, 2011; Jones *et al.*, 2013).

Os NGR induzem a formação de galhas nas raízes de diversas plantas (Abrantes *et al.*, 2007). Estas formações, nas plantas hospedeiras, resultam de uma interação complexa entre o patógeno e a planta, levando à formação de células gigantes e ao redirecionamento dos nutrientes da planta para os nemátodes (Perry *et al.*, 2009). As galhas radiculares causam a disfunção do sistema radicular, afetando a absorção de água e nutrientes, o que resulta em sintomas de turgescência, crescimento atrofiado, menor produtividade e, em casos de ataque mais severo, a perda total da produção (Sasser e Freckman, 1987; Trudgill e Blok, 2001).

Os NGR são animais endoparasitas sedentários que se encontram distribuídos por todo o mundo, sendo mais abundantes em zonas com clima tropical, subtropical e temperado (Trudgill e Blok, 2001).

1.2.1. Ciclo da doença e patogenicidade

Os NGR possuem um ciclo de vida complexo que envolve várias fases distintas, cada uma desempenhando um papel crucial na patogenicidade e sobrevivência do organismo (Fig. 1.5). Os ovos, que são postos pelas fêmeas adultas numa matriz gelatinosa, no solo ou nas raízes das plantas hospedeiras (Perry *et al.*, 2009) e, cada massa de ovos pode conter centenas de ovos que, quando eclodem, libertam juvenis de segundo estágio (J2), agentes infetivos. Estes migram no solo em busca de raízes suscetíveis, atraídos por exsudatos radiculares. Encontradas as raízes suscetíveis, os J2 penetram na zona de alongamento das raízes, iniciando a infeção (Williamson e Gleason, 2003).

Após a penetração, os juvenis movem-se intercelularmente até atingirem a região do cilindro central, onde estabelecem um local de alimentação permanente, formando células gigantes. Essas células são formadas pela reprogramação do metabolismo celular da planta, direcionando nutrientes e recursos para o nemátode, e são essenciais para o seu desenvolvimento e reprodução (Bird, 1961). Durante este processo, os juvenis tornam-se sedentários e passam por três mudas subsequentes, desenvolvendo-se para J3, J4 e finalmente para a forma adulta. As fêmeas adultas, agora sedentárias, continuam a alimentar-se nas células gigantes, enquanto os machos, que não se alimentam, podem deixar a raiz e mover-se pelo solo (Sasser e Freckman, 1987). A duração completa do ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. pode variar 30 dias ou mais, dependendo das condições ambientais, como a temperatura e a humidade (Moens *et al.*, 2009).

A reprodução pode ocorrer tanto por partenogênese como por reprodução sexual, dependendo da espécie e das condições ambientais. Em muitas espécies, a reprodução partenogenética é comum, permitindo que uma única fêmea produza descendência sem a necessidade de fertilização (Triantaphyllou, 1985). Esta capacidade de reprodução rápida contribui para a rápida disseminação e o estabelecimento de populações densas num curto período. A capacidade de produzir múltiplas gerações ao longo de uma única estação de crescimento aumenta o potencial de dano às culturas hospedeiras, tornando a luta do produtor um desafio constante (Nico *et al.*, 2004, Stirling, 2014).

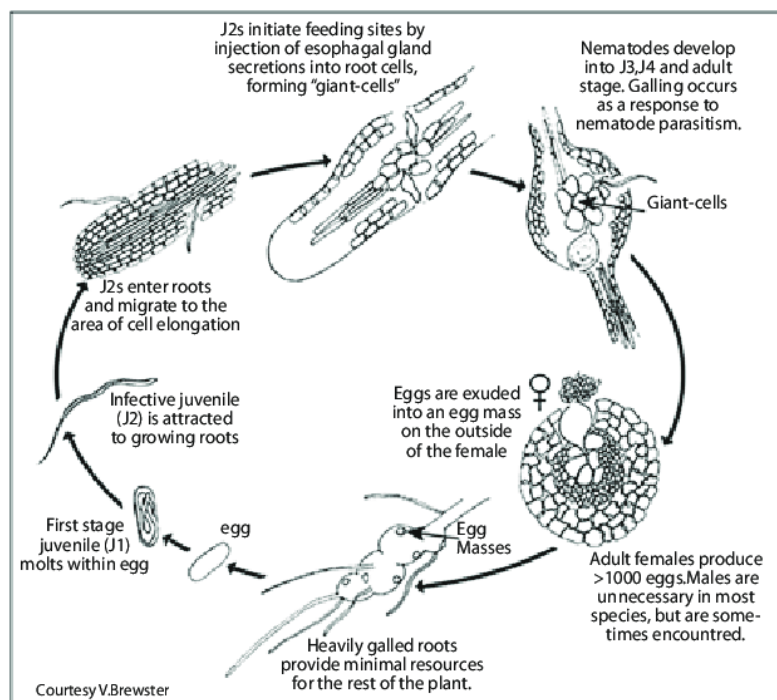


Figura 1.6 - Resumo ilustrativo do ciclo de vida dos nemátodes-das-galhas-radiculares (Mitkowski e Abawi, 2011).

1.2.2. Distribuição e importância económica na cultura de tomate

Como descrito anteriormente, os NGR estão distribuídos em todo o mundo, particularmente prevalentes em regiões de clima tropical e subtropical, onde as condições de temperatura e humidade favorecem o seu desenvolvimento e reprodução (Perry *et al.*, 2009). No entanto, também são encontrados em regiões temperadas, especialmente em ambientes protegidos como estufas, que reúnem as condições favoráveis para sua propagação (Sasser e Freckman, 1987). A movimentação de solo contaminado e a utilização de mudas infetadas disseminam esta doença para novas áreas (Karssen e Moens, 2006; Jones *et al.*, 2013).

A importância dos NGR na economia na cultura do tomateiro é substancial, refletindo-se em perdas diretas de rendimento e qualidade dos frutos, além dos custos adicionais associados ao combate destes endoparasitas. Estima-se que as perdas de produtividade causadas por *Meloidogyne* spp. podem variar entre 20% a 80%, dependendo da intensidade do ataque e das condições ambientais (Nico *et al.*, 2004). As galhas nas raízes comprometem o desenvolvimento da planta, levando a sintomas como murcha, amarelecimento das folhas e crescimento atrofiado, que resultam em frutos menores e de menor qualidade comercial (Williamson e Hussey, 1996). Cumulativamente, o combate geralmente requer a aplicação de nematodocidas, o que representa um custo significativo para os produtores e sobretudo para o meio ambiente e saúde humana (Zasada *et al.*, 2010).

Os danos causados por NGR são, muitas vezes, menosprezados pelo fato de serem reconhecidos tardiamente, pois podem ser atribuídos a outras causas (Vale *et al.*, 2013). No entanto, dada a importância econômica a nível mundial da cultura do tomateiro, é crescente a investigação acerca das perdas causadas por NGR. Por exemplo, Salazar-Anton e Guzmán-Hernández (2013), através da relação densidade inicial e densidade final de *Meloidogyne* spp., concluíram que uma densidade de 620 nemátodes em cada 100g de solo resulta numa redução tal que os ganhos líquidos finais são inferiores aos custos de produção, ou seja, resulta em prejuízo.

1.2.3. Efeitos no crescimento e na fisiologia do tomateiro

Os NGR representam uma das principais ameaças à produção de tomate (Santos *et al.*, 2020) pois causam danos significativos às raízes, comprometendo a absorção de água e nutrientes essenciais, além de interferirem diretamente no crescimento e na fisiologia das plantas hospedeiras (Nicol *et al.*, 2011). Estudos têm demonstrado que a infeção por *Meloidogyne* spp. resulta em redução do crescimento vegetativo, diminuição da produção de biomassa e alterações morfológicas nas plantas de tomateiro (Castagnone-Sereno, 2012). A interação entre o parasita e a planta pode levar a distúrbios fisiológicos, como alterações na taxa de transpiração, no metabolismo e na eficiência fotossintética (Huang *et al.*, 2019).

Além dos efeitos diretos sobre o crescimento e fisiologia das plantas, verifica-se que existe influencia na resposta das plantas a stresses ambientais, como a disponibilidade hídrica e a temperatura do solo (Zhou *et al.*, 2018). A infeção por *Meloidogyne* spp. pode

aumentar a suscetibilidade do tomateiro a condições adversas, impactando negativamente o seu desenvolvimento e produtividade (Fosu-Nyarko e Jones, 2016).

1.2.4. Métodos de controlo da doença

Ao longo dos anos tem-se desenvolvido e aplicado diversos métodos, com vista a mitigação dos danos causados pela doença. O controlo da doença pode ser feito através de métodos químicos ou métodos biológicos, através da atuação como nematodocidas ou alteração da reprodução e orientação do parasita (Araújo *et al.*, 2002).

Entre as abordagens mais promissoras, destacam-se o uso de cultivares resistentes ou tolerantes, que oferecem uma estratégia sustentável e de longo prazo e minimizam os impactos na produção (Fosu-Nyarko e Jones, 2016), e o uso de inimigos naturais do NGR, como os fungos *Purpureocillium lilacinum*, *Trichoderma harzianum* e *Pochonia chlamydosporia* que parasitam os ovos dos nemátodes (Sharon *et al.*, 2001; Goswami *et al.*, 2006) ou a bactéria *Pasteuria penetrans* que reduz a fecundidade e a capacidade de infeção dos jovens de segundo estágio, por aderirem à cutícula e reduzirem a sua mobilidade (Davies *et al.*, 1988; Stirling, 1991; Chen *et al.*, 1996).

Do mesmo modo, a rotação de culturas com plantas não hospedeiras e a adição de matéria orgânica ao solo têm demonstrado eficácia na redução da população de NGR e na melhoria da saúde do solo, proporcionando um ambiente menos favorável à sobrevivência e reprodução destes organismos (Castagnone-Sereno, 2012; Fargette *et al.*, 2014).

Outras estratégias incluem o uso de métodos químicos, nomeadamente os nematodocidas convencionais, que visam suprimir a população de NGR no solo. No entanto, é crucial considerar os aspetos ambientais e de segurança associados a estes produtos, além da sua eficácia a longo prazo e potencial desenvolvimento de resistência por parte dos NGR (Sikora *et al.*, 2018). Recentemente, abordagens integradas que combinam diferentes métodos têm sido recomendadas para maximizar os efeitos de controlo e reduzir a dependência de um único método (Vigliorchio, 1991; Chitwood, 2002; Fosu-Nyarko e Jones, 2016; Sikora *et al.*, 2018).

1.3. Fungo nematófago *Pochonia chlamydosporia*

Pochonia chlamydosporia é um fungo nematófago e pertence ao grupo dos nematófagos do género *Pochonia* (Antonious e Meyer, 2013). Estudos têm demonstrado que este fungo é eficaz contra diversos nemátodes como *Meloidogyne* spp. e *Heterodera* spp., reduzindo as suas populações e minimizando os danos causados às culturas (Manzanilla-López *et al.*, 2013).

Este fungo parasita os NGR, através da formação de esporos especializados chamados clamidósporos, que constituem estruturas de resistência e que contêm no seu interior substâncias de reserva, permitindo-lhes manter-se viáveis durante um elevado período de tempo e, conseqüentemente, sobreviver mais facilmente em condições adversas, assegurando a persistência do fungo no solo, sem causar deteriorações ou afetar o desenvolvimento da planta (De Leij *et al.*, 1992; Abrantes *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2020).

O fungo *P. chlamydosporia* coloniza as fêmeas e os ovos de nemátodes, conseguindo, desta forma, devastar uma grande quantidade de indivíduos. Além disso, possui também um efeito enzimático sobre a casca do ovo. A sua presença aumenta a permeabilidade e facilita a passagem de toxinas produzidas pelo fungo, impossibilitando a eclosão dos ovos (Stirling, 1991).

1.3.1. Ciclo da doença e patogenicidade

O fungo nematófago *P. chlamydosporia* é um organismo aeróbio que possui um ciclo de vida complexo que envolve múltiplos estágios e interações com o ambiente e com os hospedeiros. Este fungo parasita ovos e fêmeas de NGR, interrompendo o seu ciclo de vida e reduzindo a sua presença no solo (Kerry, 2000).

A infeção dos ovos inicia-se com o contacto do micélio vegetativo do fungo com a parede do ovo do nemátode, através das hifas que desenvolvem, terminal ou lateralmente, apressórios de formas e tamanhos variados. No apressório, desenvolve-se a hifa de penetração, que degrada e perfura a parede do ovo, permitindo as hifas crescerem radialmente. A hifa de penetração desenvolve-se a partir de um anel circular que aparece por debaixo do apressório, por ação química, pois o fungo produz e liberta enzimas hidrolíticas, como proteases, quitinases e glucanases, que degradam as paredes dos ovos e permitem a colonização interna pelo fungo (Abrantes *et al.*, 2007; Manzanilla-López *et al.*, 2013). Este fungo produz esporos especializados chamados clamidósporos, que são

formados no interior de estruturas fúngicas chamadas clamidósporângios resistentes e que sobrevivem por longos períodos no solo (Kerry, 2000; Manzanilla-López *et al.*, 2013; Davies *et al.*, 2018). Estudos têm demonstrado que a aplicação de *P. chlamydosporia* pode levar a uma redução significativa na eclosão de ovos e na viabilidade das larvas de segundo estágio (J2) de *Meloidogyne* spp. (Davies *et al.*, 2011).

1.3.2. Utilização no controle biológico de nemátodes

A eficácia do fungo como agente de controle biológico de NGR é influenciada por vários fatores ambientais e agronômicos, nomeadamente a presença de hospedeiros alternativos, a composição microbiológica do solo e as condições edáficas, como pH e humidade, que podem afetar a sobrevivência e a atividade do fungo no solo (Viaene e Abawi, 2000). A aplicação de matéria orgânica e compostos orgânicos no solo pode estimular o crescimento e a atividade de *P. chlamydosporia*, aumentando sua eficácia no controle de NGR (Kerry e Hidalgo-Díaz, 2004). A integração deste fungo com outras práticas culturais, como por exemplo a rotação de culturas e o uso de cultivares resistentes, melhoram os resultados do controle biológico de NGR. (Manzanilla-López *et al.*, 2013).

A utilização de produtos comerciais com *P. chlamydosporia* têm mostrado viabilidade, sendo esta uma alternativa mais sustentável face aos nematodocidas químicos (Stirling, 2014). Sellitto *et al.*, (2016) testaram um produto industrial (Pochar TM, Microspore, Larino, Itália) baseado em isolados selecionados de *P. chlamydosporia* (108 CFU/g) que pode ser aplicado através da irrigação. Este produto tem como objetivo a indução de alterações no solo, introduzindo fungos úteis que estabilizam a população de NGR. Sellitto *et al.* (2016) concluíram, então, que tal produto atua na época de maior população de NGR, sendo, por isso, bastante eficaz. O teste de campo em causa mostrou ainda que o método de aplicação em campo aberto, com tratamentos de solo/área foliar, seguidos de irrigação, foi eficaz e permitiu a sobrevivência do fungo nematófago. Para além da ação fitoparasita, promove o desenvolvimento da raiz, o aumento do número de raízes secundárias, reduz o tempo de floração e frutificação do tomate, e respetiva maturação (Zavala-Gonzalez *et al.*, 2015).

1.4. Enxertia em culturas hortícolas

A enxertia é a técnica que une duas partes de tecido vegetal de plantas vivas e compatíveis, resultando no crescimento e desenvolvimento de uma única planta. A compatibilidade, nesse contexto, refere-se à capacidade de duas plantas diferentes, unidas pela enxertia, de funcionarem satisfatoriamente como uma única planta integrada (González, 1999).

Esta técnica é utilizada para melhorar a resistência das culturas hortícolas a doenças, pragas e condições ambientais adversas. Este método envolve a união de duas plantas diferentes: um porta-enxerto, que forma a base da planta e proporciona resistência e vigor, e um enxerto, que é a parte superior produtiva da planta que define as características da colheita (Lee *et al.*, 2010). Na horticultura, a enxertia é utilizada principalmente nas famílias Cucurbitaceae e Solanaceae (Mourão e Brito, 2015), sendo eficaz na superação de problemas causados por nemátodes e fungos (Lee *et al.*, 2010). Esta técnica pode, ainda, melhorar a eficiência do uso de nutrientes e água, resultando em plantas mais robustas e produtivas (King *et al.*, 2010).

Esta prática não confere apenas resistência a patógenos, mas também pode influenciar positivamente o crescimento e a qualidade dos frutos. Pesquisas têm demonstrado que plantas enxertadas frequentemente exibem maior vigor vegetativo, maior eficiência na absorção de nutrientes e, em muitos casos, produzem frutos com melhor qualidade sensorial e nutricional (Rouphael *et al.*, 2010), sendo também uma estratégia eficaz na agricultura biológica, ao representar uma alternativa sustentável para o combate a doenças e pragas (Rivard e Louws, 2008).

Não obstante, a adoção da enxertia em culturas hortícolas requer uma compreensão detalhada das interações entre o porta-enxerto e o enxerto, bem como das condições específicas de cultivo. A escolha adequada do porta-enxerto é crucial, pois este deverá ser compatível com o enxerto e possuir as características desejadas, como resistência a doenças específicas e adaptabilidade às condições do solo (Kubota *et al.*, 2008). O processo de enxertia pode, também, ser tecnicamente desafiador e exigir mão de obra qualificada, aumentando, consequentemente, os custos iniciais de produção (Lee e Oda, 2003). Contudo, os benefícios a longo prazo, como o aumento da produtividade, redução da dependência da aplicação e maior resiliência das plantas, frequentemente superam os

custos, tornando a enxertia uma prática cada vez mais popular e valiosa na horticultura moderna (Rouphael *et al.*, 2010).

1.4.1. Objetivos da enxertia em culturas hortícolas

A enxertia em culturas hortícolas tem múltiplos objetivos que visam melhorar a resistência das plantas a pragas e doenças, aumentar a produtividade e garantir a sustentabilidade da produção agrícola. Plantas enxertadas em porta-enxertos resistentes podem evitar ou reduzir significativamente os danos causados por patógenos como nemátodes, *Fusarium*, *Verticillium* e outros agentes fitopatogénicos (Davis, 2008; Lee *et al.*, 2010; Louws *et al.*, 2010). Esta técnica é particularmente útil em sistemas de cultivo intensivo onde o uso de fumigantes do solo é restrito ou indesejado, proporcionando uma alternativa biológica eficaz para doenças do solo (Louws *et al.*, 2010). Por exemplo, estudos com tomates enxertados em porta-enxertos resistentes a *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* mostraram não apenas resistência à doença, mas também aumentos significativos no rendimento e na qualidade dos frutos (Leonardi e Giuffrida, 2006; Rivard e Louws, 2008).

Outro objetivo crucial da enxertia é a melhoria da tolerância a stresses abióticos, porta-enxertos selecionados pela sua capacidade de tolerar condições adversas, podem permitir que as plantas enxertadas mantenham a produtividade e a qualidade dos frutos, mesmo sob condições subótimas (Schwarz *et al.*, 2010). Por exemplo, melões enxertados em porta-enxertos tolerantes à salinidade mostraram uma redução nos efeitos negativos da alta concentração de sal no solo, resultando em rendimentos superiores e frutos de melhor qualidade (Colla *et al.*, 2010).

Na cultura do tomate, objeto deste estudo, a enxertia tem demonstrado aumentar não apenas o rendimento total, mas também melhorar as características organolépticas e nutricionais dos frutos, como o teor de açúcares, vitaminas e compostos antioxidantes. A enxertia pode, ainda, melhorar a eficiência no uso de nutrientes e água, permitindo um cultivo mais sustentável e com menor impacto ambiental (Rouphael *et al.*, 2010).

Posto isto, a enxertia representa uma ferramenta versátil que, quando aplicada corretamente, pode atender a múltiplos objetivos, beneficiando tanto os produtores como os consumidores.

1.4.2. Enxertia na cultura de tomate (produtividade e qualidade)

A enxertia na cultura do tomate existe desde a década de 90, inicialmente em cultivares sem resistências, como cultivares de tomateiro do tipo Raf (Mourão e Brito, 2014) e até hoje, é globalmente praticada com recurso a cultivares de plantas enxerto locais, que depois são introduzidas nas plantas porta-enxerto (Lee *et al.*, 2010).

Destaca-se como principal vantagem da enxertia na cultura do tomate a capacidade de controlar doenças do solo, como os NGR (*Meloidogyne* spp.), a murcha de *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) e de *Verticillium* (*Verticillium dahliae*) (Rivard e Louws, 2008). Porta-enxertos resistentes a estas doenças permitem que os tomateiros enxertados cresçam vigorosamente em solos infestados, reduzindo a necessidade de intervenções químicas. Por exemplo, estudos demonstraram que tomates enxertados em porta-enxertos resistentes a *Fusarium* apresentaram maiores rendimentos e menor incidência de doença, comparados com plantas não enxertadas (Louws *et al.*, 2010).

Além da resistência a patógenos, a enxertia em tomates também é utilizada para melhorar a tolerância a fatores externos e ambientais, ou seja, a utilização de porta-enxertos vigorosos e adaptados a condições adversas ajudam as plantas enxertadas a manterem o seu crescimento e produtividade (Colla *et al.*, 2010). Estudos mostraram que tomateiros enxertados em porta-enxertos tolerantes à salinidade permitiu a obtenção de frutos de alta qualidade, mesmo em condições de solo salino (Santa-Cruz *et al.*, 2002).

A absorção de nutrientes e água promove um crescimento mais robusto das plantas e uma produção de frutos mais uniforme e de alta qualidade (Leonardi & Giuffrida, 2006). As plantas de tomateiro enxertadas frequentemente apresentam maior teor de sólidos solúveis, açúcares, vitaminas e antioxidantes, desenvolvendo-se frutos de elevado nível nutricional (Rouphael *et al.*, 2010). Esta técnica pode, também, prolongar a vida útil pós-colheita dos tomates, uma vantagem importante para o mercado de produtos frescos (Kyriacou *et al.*, 2017a).

Pesquisas conduzidas por Louws *et al.* (2010) comprovaram que a enxertia constitui uma estratégia de combate eficaz às doenças do solo, como *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* e *Verticillium dahliae*, dado que as plantas de tomate enxertadas em porta-enxertos resistentes exibem maior vigor e menor incidência de doenças, resultando em plantas mais saudáveis e em maior quantidade para colheita.

A enxertia torna-se importante enquanto técnica cultural, representando uma ferramenta essencial para enfrentar desafios ambientais (Schwarz *et al.*, 2010).

1.4.3. Enxertia como técnica de controle de *Meloidogyne* spp.

Atualmente, muitos dos porta-enxertos utilizados na produção de tomate derivam de cruzamentos entre tomateiros domesticados (*Solanum lycopersicum*) e tomateiros selvagens (*Solanum habrochaites*), os quais possuem mecanismos naturais de resistência contra NGR. Um desses mecanismos de defesa é atribuído ao gene *Mi*, obtido de um tomateiro selvagem, o qual confere resistência eficaz contra NGR até à temperatura de 28°C (Dropkin, 1969; Williamson, 1998; Trudgill e Blok, 2001). Algumas populações de nemátodes superaram a resistência conferida pelo gene *Mi* à medida que se tornaram virulentas para esse mesmo gene (Roberts *et al.*, 1990; Castagnone-Sereno, 1994; Kaloshian *et al.*, 1996).

A enxertia é uma técnica eficaz no controle de NGR, *Meloidogyne* spp. na cultura do tomateiro. A utilização de porta-enxertos resistentes é uma estratégia que tem mostrado resultados promissores na mitigação dos impactos destes parasitas, Rivard e Louws (2008) demonstraram que a enxertia de cultivares suscetíveis de tomate em porta-enxertos resistentes a *Meloidogyne* spp. reduziu significativamente a população de NGR, promovendo um crescimento mais saudável e produtivo das plantas.

A eficiência da enxertia no controle desta doença é atribuída à resistência genética presente nos porta-enxertos utilizados. Porta-enxertos como Beaufort e Multifort têm mostrado alta resistência, impedindo a penetração e desenvolvimento dos mesmos nas raízes (Lee *et al.*, 2010). Esta resistência é um fator crucial, pois impede a formação de galhas radiculares e mantém a funcionalidade do sistema radicular, essencial para a absorção de água e nutrientes.

Além do controle direto dos NGR, a enxertia pode, também, melhorar a tolerância das plantas aos danos causados, mesmo quando a resistência não é completa. Schwarz *et al.* (2010) observaram que tomateiros enxertados em porta-enxertos parcialmente resistentes mostraram menor perda de produtividade em comparação com plantas não enxertadas. Isso sugere que, além de prevenir a infecção, a enxertia pode aumentar a capacidade das plantas de lidar com o stress causado pelos NGR, reduzindo os efeitos negativos na saúde e produtividade das plantas.

A integração desta prática cultural com outras, como por exemplo a rotação de culturas e a solarização do solo, potencia o controlo da doença, a combinação de porta-enxertos resistentes com estas técnicas cria um ambiente menos favorável à proliferação da doença, aumentando, assim, a eficácia do controlo (Colla *et al.*, 2010). Apesar de os NGR manterem a capacidade de multiplicação e infeção das plantas, não atingem níveis populacionais causadores de danos significativos à produção, quando conjugados com outros meios de controlo, destacando-se os agentes de controlo biológico como a bactéria *Pasteuria penetrans* ou o fungo *Pochonia chlamydosporia* (Costa, 2015).

A nível económico, os custos da enxertia variam de acordo com a região, tipo de porta-enxerto e das práticas específicas de cada produtor. Estudos indicam que os custos iniciais de produção de plantas enxertadas tendem a ser mais elevados, em comparação com as plantas não enxertadas, devido ao aumento dos custos de materiais (sementes de porta-enxerto e enxerto), trabalho e tempo envolvidos no processo de enxertia (Davis *et al.*, 2008). No entanto, estes gastos podem ser compensados com a maior produtividade, melhor qualidade dos frutos e redução dos custos intervenções agrícolas graças à maior resistência aos NGR, consequente da utilização das práticas descritas (Rivard e Louws, 2008).

1.5. Objetivos do trabalho

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o controlo biológico dos NGR pelo fungo *Pochonia chlamydosporia*, em cultura protegida de tomate não enxertado e enxertado no porta-enxerto comercial de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) cv. Embajador, que é parcialmente resistente ao NGR.

O ensaio foi realizado numa estufa de produção comercial, naturalmente infestada com este agente fitopatogénico e pretendeu-se avaliar a produção de tomate, os danos causados nas plantas e a reprodução dos nemátodes nos diversos tratamentos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização do ensaio

O ensaio foi realizado numa estufa hortícola situada na freguesia da Apúlia, concelho de Esposende (Fig. 2.1). As coordenadas geográficas exatas do local são: 41°28'34.4"N 8°46'09.5"W.

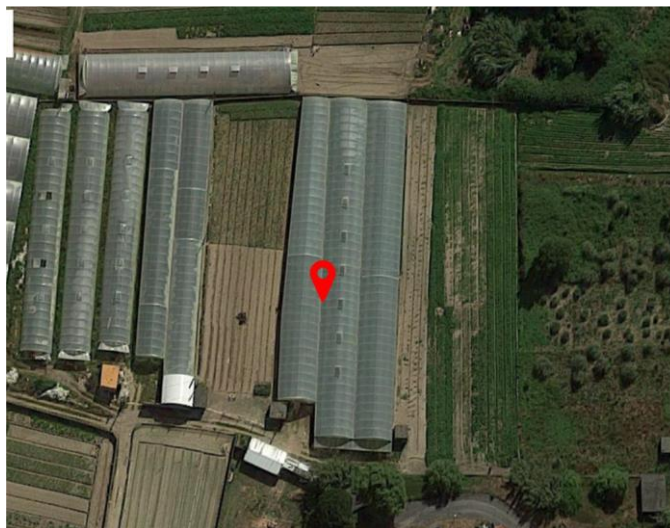


Figura 2.1 - Fotografia aérea da estufa e sinalização exata do local do ensaio (Imagem aérea retirada do Google Maps).

A estufa deste ensaio apresentava uma área total de aproximadamente 2500 m² e estava dividida em 3 setores (Fig. 2.2). Apesar de se verificar a presença de NGR em todo o solo da estufa, o primeiro setor apresentava uma maior incidência, o que motivou a escolha deste local para a realização do ensaio.

De acordo com as instruções do produtor, o ensaio foi instalado no primeiro setor, em frente da porta e ao lado da janela, onde haveria uma maior densidade da doença, disposto em três linhas mais centrais, entre tomateiros Coração de Boi enxertado em Embajador, geridas pelo produtor.

As plantas do ensaio foram devidamente identificadas com fita de sinalização, assim como os talhões, com *spray* branco no filme de polietileno preto, usado para o controlo de plantas infestantes.

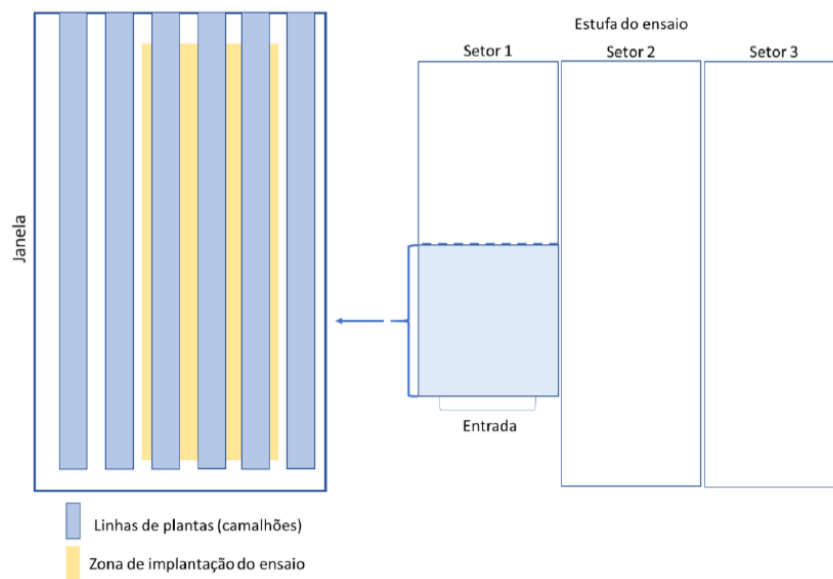


Figura 2.2 - Esquema da estufa localizada na Apúlia, onde decorreu o ensaio.

2.2. Condições de temperatura durante o ensaio

A freguesia da Apúlia apresenta um clima tipicamente temperado marítimo, caracterizado por verões amenos e invernos moderadamente frios e húmidos. De acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a região é influenciada pela proximidade do Oceano Atlântico, o que resulta em uma temperatura média anual de cerca de 15°C. Os meses mais quentes, julho e agosto, têm temperaturas médias que oscilam entre 20°C e 25°C, enquanto nos meses mais frios, dezembro e janeiro, as temperaturas médias variam entre 8°C e 12°C (IPMA, 2023).

A precipitação é distribuída de maneira relativamente uniforme ao longo do ano, embora com um aumento significativo durante os meses de inverno. A média anual de precipitação é de aproximadamente 1200 a 1500 mm, onde os meses de outubro a março são caracterizados como os mais chuvosos. Essa distribuição pluviométrica garante um nível adequado de humidade para a vegetação local, mas também pode representar desafios para a agricultura, especialmente no que se refere ao controlo de doenças fúngicas e outras condições relacionadas ao excesso de humidade (IPMA, 2023).

Além da temperatura e precipitação, a Apúlia também enfrenta a influência de ventos costeiros que podem impactar tanto as atividades diárias, como as práticas agrícolas. Estes ventos são mais intensos durante a primavera e o verão, com velocidades médias que podem variar de 10 a 20 km h⁻¹, contribuindo para a sensação de frescura durante os meses

mais quentes (Silva *et al.*, 2015). A análise climatológica da região sugere que estas condições de vento, juntamente com a alta humidade relativa, que frequentemente excede 80%, criam um microclima específico que pode beneficiar certas culturas agrícolas e, ao mesmo tempo, exige medidas de proteção contra a erosão e dispersão de sal marinho em áreas próximas à costa (Silva *et al.*, 2015).

2.3. Solos

A caracterização dos solos na freguesia da Apúlia revela um perfil dominado por solos arenosos, derivados principalmente de formações dunares costeiras. Estes solos, conhecidos como psamitos, são tipicamente ácidos e apresentam baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, representando desafios significativos para a agricultura. Estudos realizados por Carvalho *et al.* (2015) indicam que a textura arenosa dos solos da Apúlia resulta em uma alta permeabilidade, favorecendo a lixiviação de nutrientes essenciais como o azoto e o potássio. Esta característica, enquanto promove uma rápida drenagem, também exige uma gestão cuidadosa da fertilização e da irrigação para evitar deficiências nutricionais e garantir a produtividade das culturas.

Além das características físicas, os solos da Apúlia também são influenciados por fatores químicos e biológicos. A matéria orgânica, essencial para a fertilidade do solo, tende a ser baixa nos solos arenosos da região, necessitando de práticas agrícolas que incorporem matéria orgânica através de adubos verdes ou compostagem (Ferreira *et al.*, 2016). A análise química dos solos da Apúlia revela um pH ácido, geralmente variando entre 5.0 e 6.5 (Fig. 2.3), o que pode limitar a disponibilidade de alguns nutrientes e a eficiência de certos fertilizantes (Pereira *et al.*, 2017).

<i>Parâmetro / Método</i>	<i>Resultado</i>	<i>Interpretação</i>	<i>Correctivo a aplicar / Comentários</i>
pH (H ₂ O) ISO 10390:2005 / Potenciometria	7,21 ± 0,01	Neutro	-
Necessidade de Calcário Cálculo / Volumetria			
pH (CaCl ₂) ISO 10390:2005 / Potenciometria	6,97 ± 0,01	Neutro	-
Condutividade eléctrica ISO 11265:1994 / Condutimetria	2484 ± 2 µS/cm	Fortamente salino	Lava o solo com 1-2 L de água / cada 30 cm ² de solo
Matéria orgânica Cálculo (M.O. = C _{org} x 1,724)	4,51 ± 0,01 %	Alta	15 t/ha Estrume de bovino bem curtido
Carbono orgânico prNE 15936:2009 / Condutimetria	2,62 ± 0,04 %		-
Azoto total NE 13654-2:2001 / Condutimetria	0,16 ± 0,02 %	Médio	200 kg/ha N
Razão Carbono : Azoto Cálculo	16,8	Elevado	Condições favoráveis para a imobilização do azoto
Fósforo (P ₂ O ₅) ISO 22036:2008 / Extração em Mehlich 3	1072,9 ± 0,4 mg/kg	Excesso	0 kg/ha P ₂ O ₅
Potássio(K ₂ O) ISO 22036:2008 / Extração em Mehlich 3	767,7 ± 1,3 mg/kg	Excesso	0 kg/ha K ₂ O
Cálcio (CaO) ISO 22036:2008 / Extração em Mehlich 3	13101 ± 0,9 mg/kg	Excesso	
Magnésio (MgO) ISO 22036:2008 / Extração em Mehlich 3	838,9 ± 0,4 mg/kg	Excesso	0 kg/ha MgO
Sódio ISO 22036:2008 / Extração em Mehlich 3	276,6 ± 0,1 mg/kg		

Figura 2.3 - Boletim de análise do solo do local do ensaio.

2.4. Material vegetal

Para o ensaio seleccionou-se cv. Coração de boi não enxertadas (representada pela letra B) e cv. Coração de boi combinada com porta enxertos Embajador (representado pela letra E), provenientes da empresa *Viveiros Dias – Sociedade de Agricultura de Grupo, LDA*, localizada na Póvoa de Varzim.

A receção das plantas data o dia da transplantação, 17 de janeiro de 2019, exceto as plantas enxertadas, tendo sido estas plantadas no dia 18 de janeiro de 2019, pelo produtor.

2.5. Desenho experimental

O ensaio foi composto por blocos casualizados com 4 tratamentos de 3 repetições cada (Fig. 2.4). Cada tratamento era composto por 7 plantas, sendo as 3 plantas centrais utilizadas para o estudo em causa. As restantes plantas nas fronteiras entre tratamentos designaram-se de plantas guarda. O compasso de plantação foi de 0,4 m entre plantas e 2 m entrelinha.

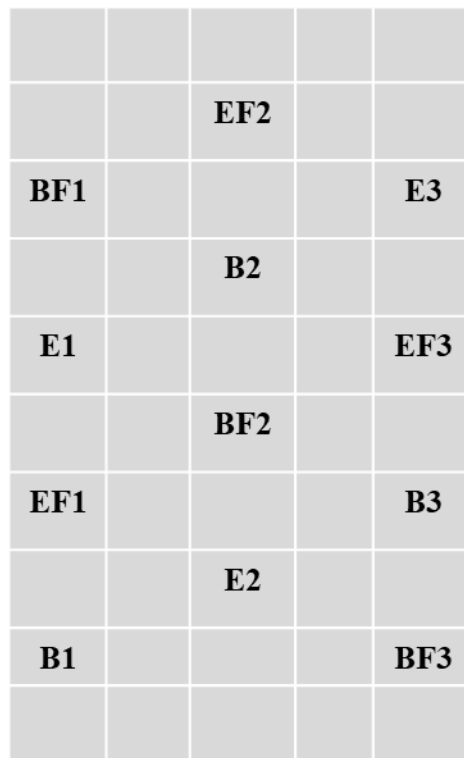


Figura 2.4 – Esquema do ensaio, com a localização dos tratamentos descritos no quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Tratamentos utilizados no ensaio de tomateiros da cv. Coração de boi, porta-enxerto da cv. Embajador, respectivas siglas e forma de condução.

Tratamento	Sigla	N.º de hastes	N.º plantas por local de plantação
Plantas não enxertadas e sem inoculação	B	1	2
Plantas não enxertadas com inoculação do fungo <i>P. chlamydosporia</i>	BF	1	2
Plantas enxertadas e sem inoculação	E	2	1
Plantas enxertadas com inoculação do fungo <i>P. chlamydosporia</i>	EF	2	1

2.6. Instalação da cultura

A cultura foi instalada no dia 17 de janeiro de 2019, previamente à plantação, procedeu-se à mobilização do terreno com recurso à fresa, tendo sido incorporado o fertilizante. O polietileno perfurado foi colocado manualmente pelo produtor com respetivo nivelamento superficial.

2.7. Fertirrega

Na Figura 2.5 encontra-se o mapa de nutrição (fertirrega) elaborado pelo técnico responsável Davide Sousa, para a fase vegetativa e na Figura 2.6 para a fase de produção.

Inácio				250 L	
Vegetativo				Cuba	Tomate
Nitrato de Cálcio	15,00	Kg	1	50%	
Nitrato de Potássio	1,50	kg			
Nitrato de Amónio	750,00	gr			
Ácido Nítrico (60%)	4,00	L			
Ferro 6% (Essemax)	500,00	gr			
Micronutrientes (Mikrom)	500,00	gr	2	50%	
Sulfato de Magnésio	1,50	Kg			
Ácido Fosfórico (72%)	3,00	L			
Nitrato de Potássio	5,00	kg			
Sulfato de Potássio	5,0	kg			
Molicream	20,0	gr			
Sulfato de Manganês (32%)	50,0	gr			
Borax (11%)	100,0	gr			
					pH 5,6
Tomate	Fase		Vegetativo		
	C.E.		2,8		
Davide Sousa					

Figura 2.5 - Mapa de nutrição (fertirrega) elaborado pelo técnico responsável Davide Sousa, para a fase vegetativa.

Início				250 L	
Produtivo				Cuba	Tomate
Nitrato de Cálcio	14,00	Kg	1	50%	
Nitrato de Potássio	1,50	kg			
Nitrato de Amónio	750,00	gr			
Ácido Nítrico (60%)	4,00	L			
Ferro 6% (Essemax)	500,00	gr			
Micronutrientes (Mikrom)	500,00	gr	2	50%	
Sulfato de Magnésio	1,50	Kg			
Ácido Fosfórico (72%)	3,00	L			
Nitrato de Potássio	5,00	kg			
Sulfato de Potássio	8,0	kg			
Molicream	20,0	gr			
Sulfato de Manganês (32%)	50,0	gr			
Borax (11%)	100,0	gr			
				pH 5,6	

Figura 2.6 - Mapa de nutrição (fertilização) elaborado pelo técnico responsável Davide Sousa, para a fase de produção.

2.8. Polinização da cultura

A polinização da cultura foi cumprida com recurso a abelhões polinizadores (*Bombus terrestris*), de forma a potenciar o rendimento da cultura do tomateiro e respetiva qualidade dos frutos.

As caixas colocadas na estufa foram provenientes da empresa Koppert – Biological Systems, tendo sido colocado a cada 1 000 m², com reposição de 6 em 6 semanas, até terminar a floração.

Para esta ação, foi necessária a colocação de uma rede mosquiteira nas laterais da estufa, com o objetivo de manter os abelhões dentro da estufa e garantir, também, o arejamento e afastamento de possíveis predadores.

2.9. Rega da cultura

A cultura foi regada com sistema de rega gota-a-gota, com água sob pressão. Os gotejadores estavam distribuídos ao longo dos camalhões, junto de cada planta.

Quadro 2.2 - Programação cronológica da rega durante o ensaio

Data (d/m/a)	Tempo de rega (min)	Condutividade elétrica	pH	Observações
17/01/2019	10	--	--	Sem fertilização
15/02/2019 a 15/03/2019	10	2,8	5,6	Rega de 2 em 2 dias
16/03/2019 a 1/04/2019	10	2,8	5,6	Rega diária
2/04/2019 a 15/04/2019	15	2,8	5,6	Rega diária
16/04/2019 a 22/06/2019	20	2,7	5,6	Rega diária

2.10. Inoculação do fungo *Pochonia chlamydosporia* no solo

Para posterior avaliação da ação do fungo *Pochonia Chlamydosporia*, no dia da plantação (17 de janeiro) a equipa de estudo inoculou clamidósporos do fungo junto dos tratamentos BF e EF.

O processo descrito foi realizado da seguinte forma:

1. Recolha de 300 ml de solo com recurso a uma sonda;
2. Depósito do solo recolhido num saco de plástico estéril;
3. Mistura do solo e do inóculo – 150 x 105 clamidósporos do fungo;
4. Despejo do solo com inóculo junto da planta para futura colonização.

Este processo foi repetido mais uma vez (19 de março) durante o ensaio devido à baixa presença do fungo no solo, garantindo assim a presença deste.

Nesta altura, as plantas já estavam bem enraizadas e aplicou-se o fungo de forma diferente:

1. Foi aberto um rego raso ao longo do talhão a ser inoculado, próximo às plantas, e, a cerca de 10 cm dos caules, o fungo foi despejado e o solo misturado
2. Realizada a rega no final.

2.11. Avaliação ao desenvolvimento das plantas de tomate

Ao longo do presente estudo foram avaliados os seguintes estados das plantas da cultura do tomateiro:

- Aparecimento da 1.^a flor;
- Vingamento do fruto;
- Colheita e avaliação da produtividade

A colheita foi elaborada aquando da do produtor responsável pela estufa, Sr. Inácio, de forma a aproximar ao máximo este estudo da realidade comercial.

A 1.^a colheita realizou-se a 7 de maio de 2019, 110 dias após a plantação. No total procedeu-se a 16 colheitas, durante 69 dias.

Esta ação foi realizada de acordo com a maturação dos frutos, no entanto notou-se que, para fins comerciais procede-se a uma colheita mais cedo, conforme indicação do produtor.

Todos os aspetos supracitados foram registados por cada colheita, assim como o estado dos frutos.

2.12. Avaliação das características de qualidade dos frutos

De modo a obter uma maior homogeneidade dos resultados, selecionou-se 3 das 16 colheitas para avaliar em laboratório os parâmetros abaixo mencionados:

1. Matéria Seca (MS) - A percentagem de MS foi obtida após secagem a 61°C, numa estufa ventilada, após 48 horas, do segundo conjunto de quartos de fruto;
2. Firmeza – medida com recurso a um penetrómetro (TR Snc), sendo expressa pela média da força máxima (kg) necessária para penetrar cada fruto, com uma sonda cilíndrica de 8 mm a uma velocidade de 50 mm/min;

3. pH – medido por um potenciómetro (TITROLINE-EASY, da Fisher Scientific);
4. Acidez titulável - determinada por titulação a pH 8,1 com uma solução de NaOH 0,1 N, por titulação automática (TITROLINE-EASY, da Fisher Scientific) e foi expresso em % ácido cítrico (m/v);
5. °Brix – medido com recurso a um refratómetro “Pen Pro – Atago”.

Os resultados foram obtidos nos Serviços Analíticos da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana de Castelo.

2.13. Avaliação estatística dos resultados

A análise estatística, para comparar as médias de produção e dos parâmetros de qualidade, foi realizada através de análise de variância (ANOVA), e quando existiam diferenças entre tratamentos, as mesmas foram comparadas com base na menor diferença significativa entre médias ($P < 0,05$), recorrendo-se ao programa IBM SPSS Statistics, versão 22.

3. RESULTADOS

3.1. Desenvolvimento das plantas

A avaliação do número de flores presentes em 6 hastes de tomateiros (plantas em avaliação), em cada tratamento, 49, 57 e 62 dias após a plantação (DAP), assim como o número de frutos vingados 62 DAP, não foi aparentemente, diferente entre todos os tratamentos. No entanto, ocorreu uma tendência de algum atraso no desenvolvimento das flores e primeiros frutos vingados nas plantas enxertadas em comparação com as plantas não enxertadas (Fig. 3.1).

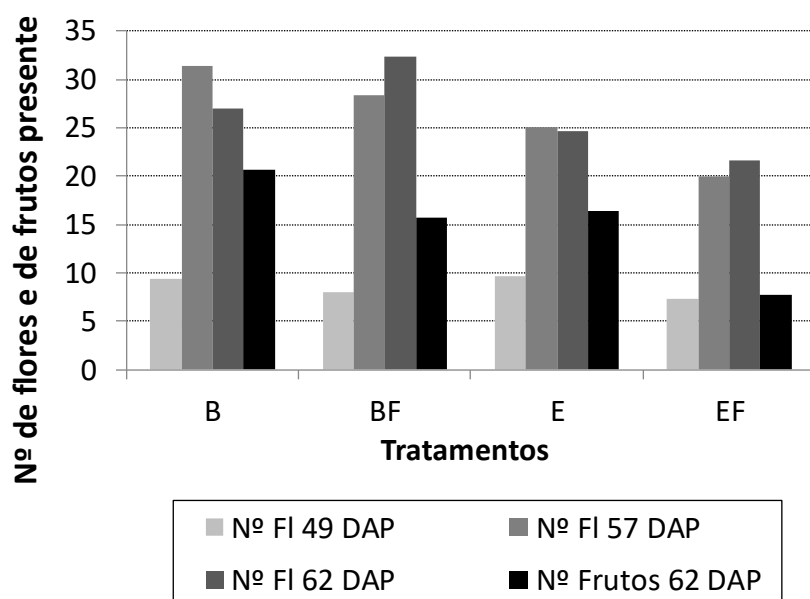


Figura 3.17 - Número de flores presentes em 6 hastes de tomateiros, 49, 57 e 62 dias após a plantação (DAP), e números de frutos vingados presentes 62 DAP, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

3.2. Produtividade das culturas de tomate

A primeira colheita comercial do tomate realizou-se no dia 7 de maio, 110 dias após a plantação, e a última colheita efetuou-se no dia 15 de julho, 179 dias após a plantação. Ao longo destes 69 dias foram realizadas uma a duas colheitas por semana, num total de 16 colheitas, em seis hastes (3 ou 6 plantas) por cada repetição de todos os tratamentos.

O número total de frutos foi idêntico em todos os tratamentos de plantas enxertadas e não enxertadas, com e sem inoculação no solo do fungo *P. chlamydosporia*, em média, 40,5 frutos m^{-2} .

No entanto, a produtividade foi significativamente superior no tratamento de plantas enxertadas sem inoculação em comparação com as plantas não enxertadas com inoculação, sendo a produtividade média das plantas não enxertadas em conjunto de 13,4 kg m^{-2} , significativamente inferior à produtividade média das plantas enxertadas (16,4 kg m^{-2}) (Fig. 3.2).

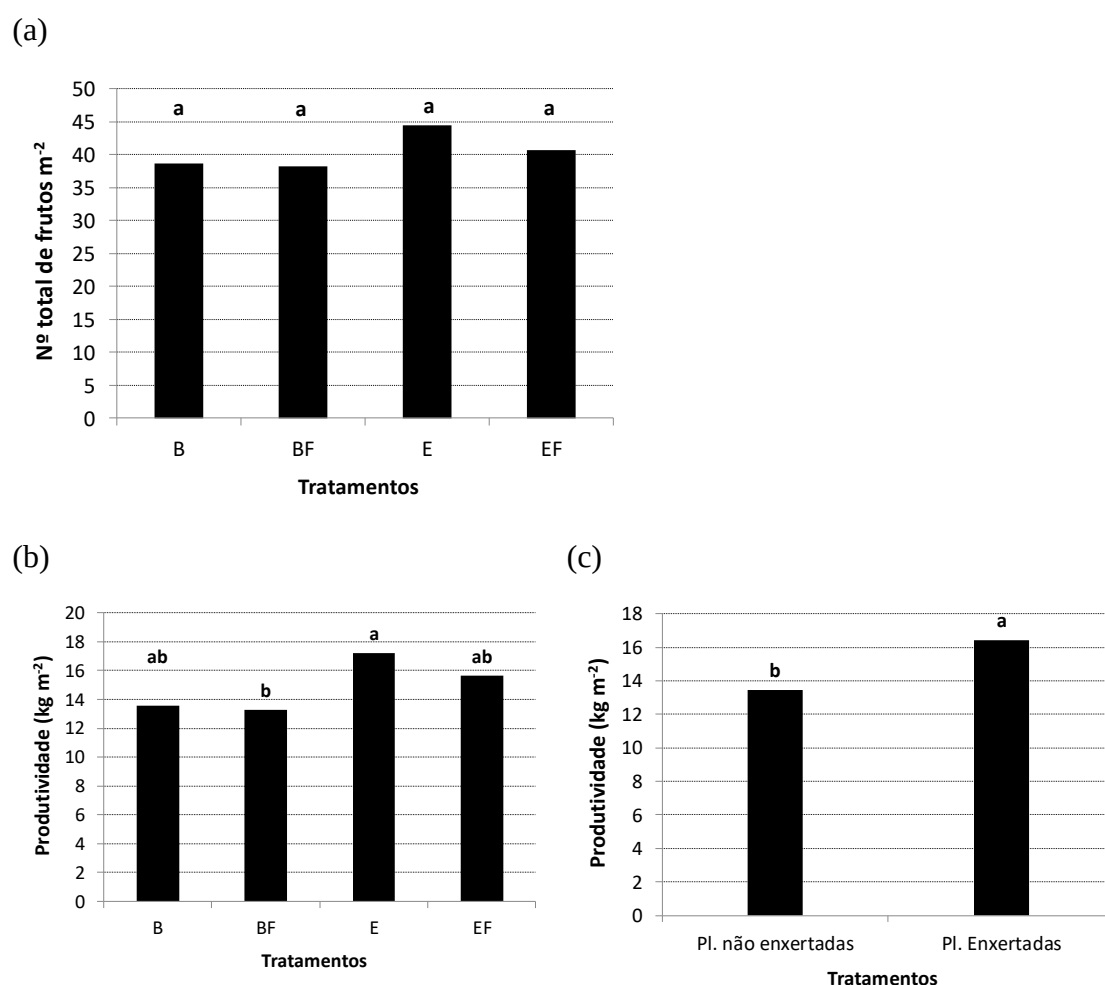


Figura 3.2 -(a) Número total de frutos (m^{-2}); (b) produtividade (kg m^{-2}) para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia* e (c) produtividade (kg m^{-2}) para os tratamentos em conjunto de plantas não enxertada e enxertadas. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

A colheita iniciou-se no mesmo dia em todos os tratamentos (110 DAP), apesar da existência de um maior número e peso de frutos nas plantas não enxertadas em comparação com as plantas enxertadas, até aproximadamente à quinta colheita (125 DAP). A partir desta colheita, as plantas enxertadas apresentaram um maior número e peso de frutos, em comparação com as plantas não enxertadas (Fig.3.3 e 3.4).

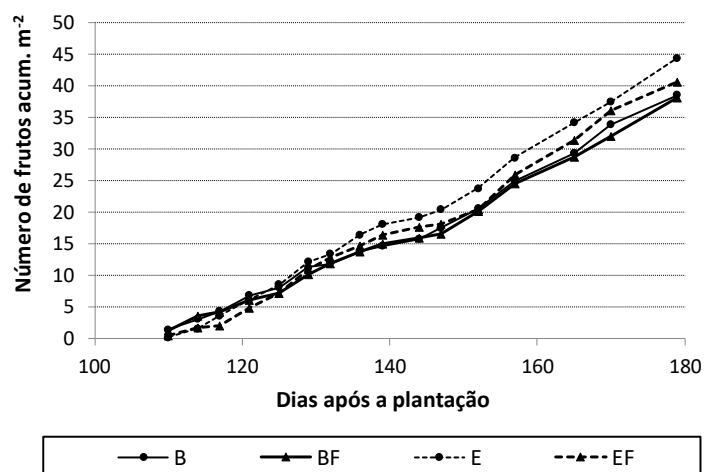


Figura 3.3 - Número de frutos acumulados (m^{-2}), durante o período da colheita (07/05 a 15/07/2019), para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*.

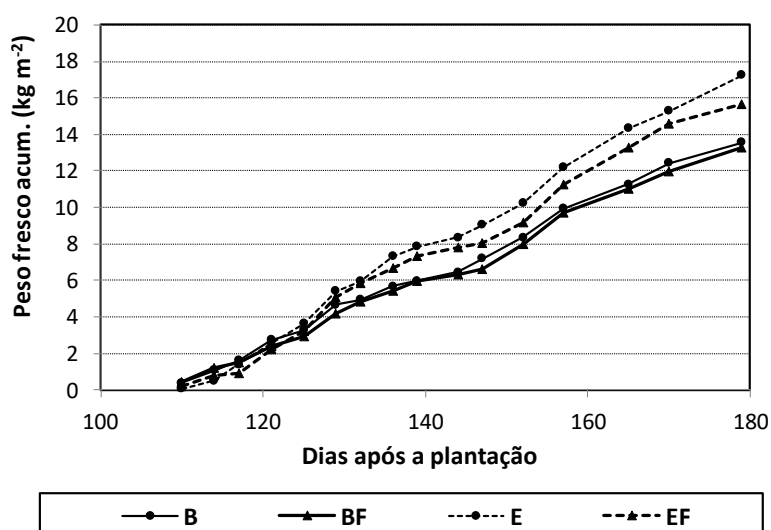


Figura 3.4 - Peso fresco acumulado ($kg\ m^{-2}$), durante o período da colheita (20/8 a 4/10/2018), para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*.

3.3. Calibre dos frutos

Para a determinação dos calibres foram registados em todas as colheitas os valores do número de frutos (Fig. 3.5) e o peso fresco (Fig. 3.6) por calibre, considerando-se as seguintes classes de calibres comerciais: 57-66, 67-81, 82-102 e ≥ 102 mm, não se tendo registado frutos de calibre ≤ 56 mm.

Para todos os calibres, o número e o peso dos frutos foram idênticos em todos os tratamentos do ensaio, apesar de uma tendência de maior número e peso dos frutos de maior calibre (≥ 102 mm) nas plantas enxertadas, em comparação com as plantas não enxertadas (Fig. 3.5 e 3.6).

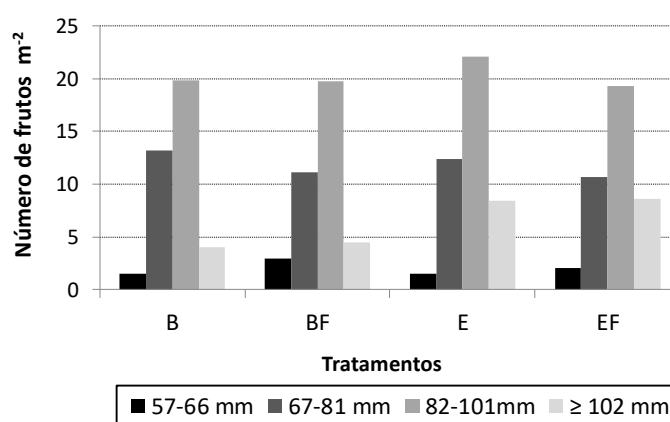


Figura 3.5 - Número de frutos de tomate (m⁻²), para frutos com calibre 57-66, 67-81, 82-102 e ≥ 102 mm, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

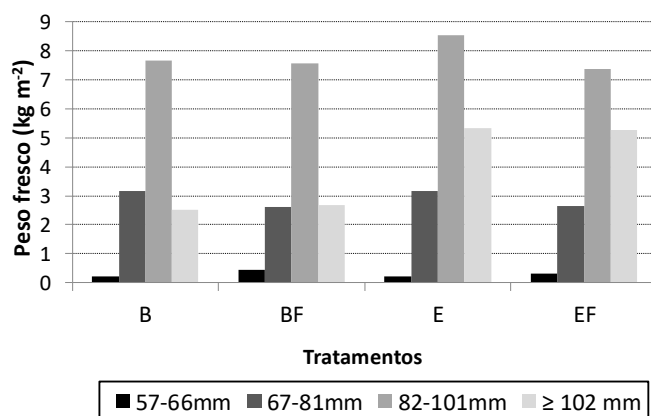


Figura 3.6 - Peso fresco do tomate (kg m⁻²), para frutos com calibre 57-66, 67-81, 82-102 e ≥ 102 mm, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Quando consideramos a percentagem do peso fresco dos frutos para os mesmos calibres, as diferenças entre os tratamentos também não foram significativas, mas manteve-se a tendência de uma maior percentagem de frutos de maior calibre (≥ 102 mm) nas plantas enxertadas (31,3%), em comparação com as plantas não enxertadas (19,7%).

Em contraste, a percentagem de frutos de calibre 82-102 mm é, aparentemente, superior nas plantas não enxertadas (56,4%) em comparação com as plantas enxertadas (49,4%) (Fig. 3.7).

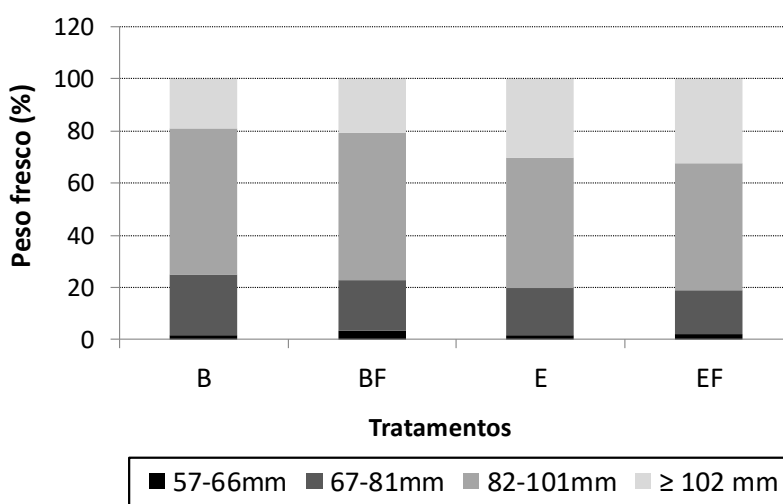


Figura 3.7 - Percentagem do peso fresco dos frutos para os calibres 57-66, 67-81, 82-102 e ≥ 102 mm, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

3.4. Matéria seca dos frutos

A avaliação da qualidade dos frutos foi realizada em 3 das 16 colheitas de tomate, nomeadamente nos dias 29 de maio, 13 de junho e 6 de julho 2019, ou seja 132, 147 e 170 dias após a plantação. Para a determinação da matéria seca (MS), tal como para a firmeza, teor em sólidos solúveis, pH e acidez titulável, foram aleatoriamente selecionados 3 a 4 frutos de cada repetição dos tratamentos.

A matéria seca (MS) dos frutos foi semelhante nas plantas da cv. Coração de boi não enxertadas sem e com inoculação do fungo, mas nestas últimas plantas a MS foi superior à das plantas enxertadas sem e com inoculação do fungo (Fig. 3.8). De um modo geral, estas diferenças foram consistentes durante todo o período de colheita considerado, tendo a MS aumentado, em média, de 4,6% para 5,5% (Fig. 3.9).

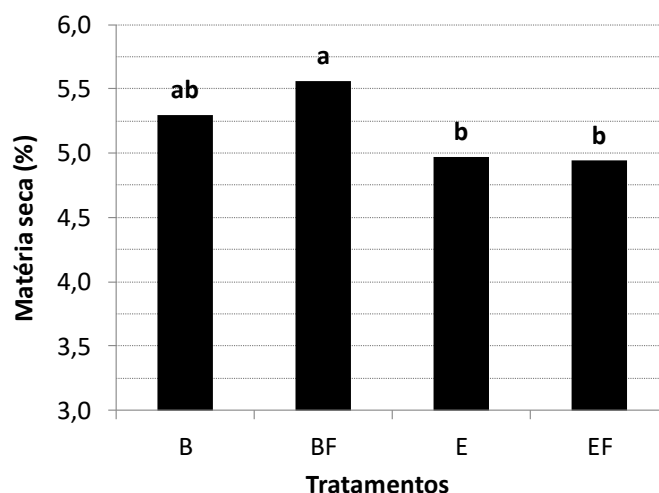


Figura 3.8 - Valor médio da percentagem de matéria seca para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

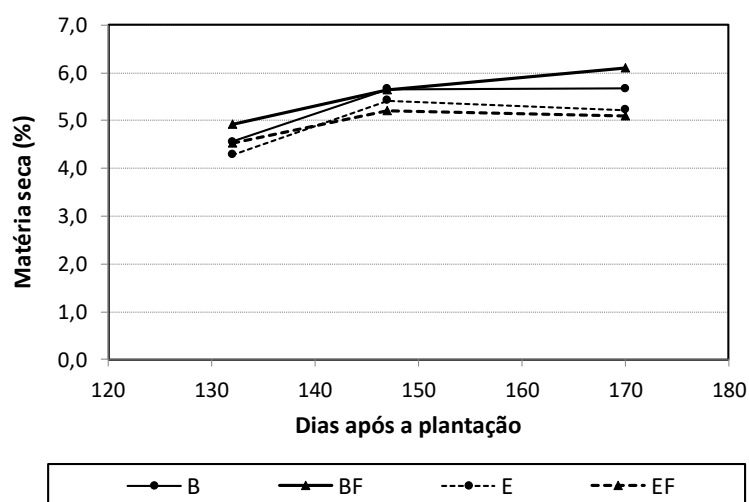


Figura 3.9 - Percentagem de matéria seca dos frutos, 132, 147 e 170 dias após a plantação, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*.

3.5. Firmeza, sólidos solúveis, pH e acidez titulável dos frutos

Não existiram diferenças significativas entre os tratamentos para o valor médio da firmeza dos frutos, para a acidez e pH que foram em média, respectivamente, 2,0 kg, 0,34 g 100g Pf^{-1} e 4,3 (Fig. 3.10).

As plantas não enxertadas e sem inoculação do fungo produziram frutos mais doces (4,9°Brix) ($p < 0,05$) do que as plantas de todos os outros tratamentos. Para as plantas que foram inoculadas os frutos das plantas não enxertadas também foram mais doces do que os frutos das plantas enxertadas (Fig. 3.10).

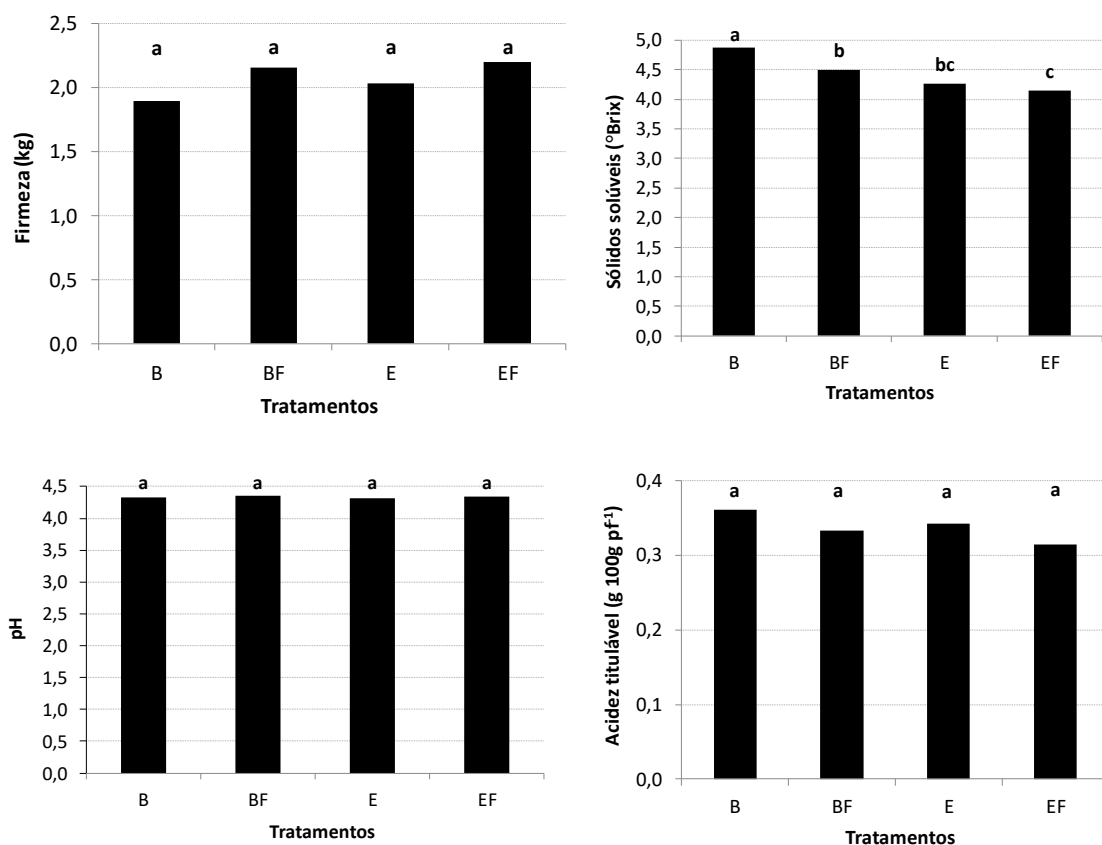


Figura 3.10 - Valores médios da firmeza (kg), total de sólidos solúveis (°Brix), pH e acidez titulável (g 100g Pf⁻¹) dos frutos, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

A evolução dos diferentes parâmetros de qualidade dos frutos, ao longo do período de colheita, revelou uma tendência de diminuição para a firmeza, ao contrário do teor em sólidos solúveis que, tal como a MS, aumentou, não se registrando oscilações significativas para os valores do pH e acidez titulável. A firmeza variou de 2,0 a 1,5 kg entre 132 e 170 DAP e o teor em sólidos solúveis de 4,2 para 4,6°Brix (Fig. 3.11).

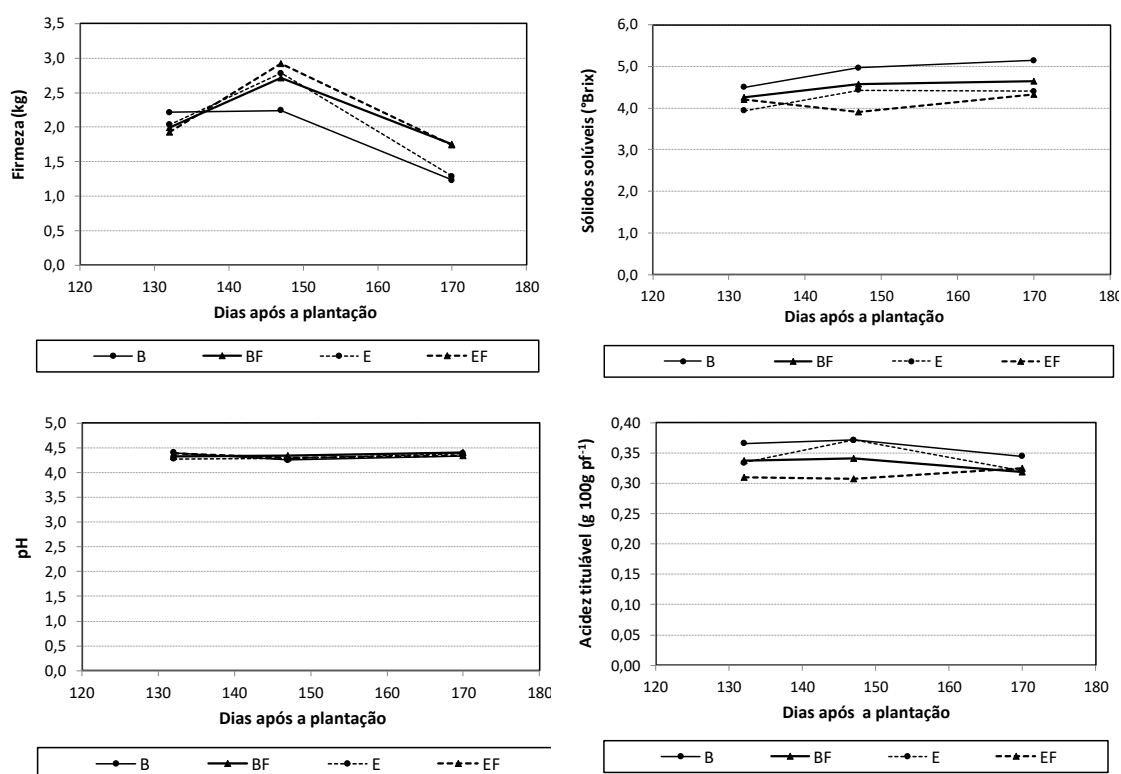


Figura 3.11 - Firmeza (kg), total de sólidos solúveis (°Brix), pH e acidez titulável (g 100g Pf⁻¹), 132, 147 e 170 dias após a plantação, para os tratamentos de plantas de tomate cv. Coração de boi, não enxertada (B) e enxertada no porta enxerto Embajador (E), com (BF, EF) e sem (B, E) inoculação do fungo *P. chlamydosporia*.

3.6. Aspectos Económicos da produção

Com base nas cotações do tomate, no mercado da Região (EDM), entre os dias 6 de maio e 1 de julho 2024 (entre a semana 19 e 29), o tomate sofreu as variações indicadas no Quadro 3.1.

Neste mercado, o tomate de calibre ≥ 82 mm teve sempre uma cotação de mais 5 centavos/kg do que o tomate de calibre 67-81 mm. As semanas onde se obtiveram os melhores preços foram as duas primeiras (semanas 19 a 20).

Quadro 3.1 - Variação do preço do tomate no Mercado da Região de Entre Douro e Minho (EDM) nas semanas de produção do ensaio

Semana	Tomate Sulcado (€/kg)	
	(preço frequente)	
	67-81 mm	≥ 82 mm
19	0,7	0,75
20	0,60	0,65
21	0,40	0,45
22	0,40	0,45
23	0,35	0,4
24	0,30	0,35
25	0,40	0,45
26	0,70	0,45

Fonte: GPP, 2024.

O custo de plantação com plantas não enxertadas foi de 0,74 €/planta, enquanto com plantas enxertadas o custo foi de 1,04 €/planta. Esta diferença de 0,3 € deveria ser compensada pela maior produtividade das plantas enxertadas, o que não foi corroborado neste estudo. Verificou-se uma diferença de 0,12€/m² no lucro acumulado entre os tratamentos de plantas enxertadas e o tratamento de plantas não enxertadas (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 - Preço das plantas utilizadas no ensaio.

Tratamentos	Preço planta	€/Plantas/m ²	Preço €/m ²
Cv Coração de boi	0,74	2,5	1,85
Cv Coração de boi X Embajador	1,04	1,25	1,30

4. DISCUSSÃO

4.1. Produtividade dos porta enxertos

A produtividade média das plantas enxertadas, 16,4 kg m⁻², foi significativamente superior à produtividade média das plantas não enxertadas, 13,4 kg m⁻². Estes resultados estão de acordo com outros estudos que mostraram a influência positiva da enxertia na produtividade das culturas (Lee *et al.*, 1999; Leonardi e Giuffrida, 2006; Mohammed *et al.*, 2009; Di Giola *et al.*, 2010; Louws *et al.*, 2010). Relativamente ao número de frutos e, conseqüentemente, peso fresco acumulado, apesar da semelhança em todas as amostras, com uma média de 40,5 frutos m⁻², ao longo das colheitas verificou-se um maior número de frutos nas plantas enxertadas, também confirmado por Rouphael *et al.* (2010) e ZhenDe *et al.* (2012).

De acordo com Barret *et al.* (2012), a eficácia dos porta-enxertos tolerantes verifica-se quando a pressão desta doença é alta e dado que no presente estudo se verificaram valores semelhantes em todos os tratamentos, sem e com inoculação do fungo *P. chlamydosporia*, poder-se-á assumir que a pressão da doença era baixa.

4.2. Qualidade dos frutos

O presente estudo teve por base os calibres comerciais em vigor, 57-66, 67-81, 82-102 e ≥102 mm. Apesar das diferenças não serem significativas, as plantas enxertadas produziram frutos aparentemente de maior calibre (≥102 mm), em comparação as plantas não enxertadas, assim como o peso fresco dos frutos para os mesmos calibres, sendo tendencialmente superior a percentagem de 31,3 % nas plantas enxertadas em comparação com a percentagem de 19,7 % em plantas não enxertadas. No entanto, relativamente ao calibre mais comum no escoamento comercial, 82-102 mm, a percentagem de frutos foi similar nas plantas não enxertadas e enxertadas, 56,4% e 49,4%, respetivamente. Não obstante, não se verificou que a presença do fungo *P. chlamydosporia* tenha contribuído significativamente para o calibre dos frutos.

Durante todo o período de colheita, a matéria seca foi superior nas plantas não enxertadas, sem e com inoculação do fungo, o que contraria os estudos de Davis *et al.* (2008), mas corrobora os de Pérez-Alfocea *et al.* (2022), que concluiu que as plantas não enxertadas com menor disponibilidade de água e nutrientes, aumentaram a concentração de sólidos nos frutos e, conseqüentemente, apresentam uma maior percentagem de MS.

Cumulativamente, nas plantas enxertadas, a percentagem de MS será menor, por apresentarem raízes mais vigorosas e maior capacidade de absorver água, conforme verificou Turhan *et al.* (2011).

Relativamente à firmeza, não se obtiveram diferenças significativas entre tratamentos, o que vai ao encontro dos estudos de Albacete *et al.* (2015), Rouphael *et al.* (2018) e Proietti *et al.* (2020), onde a firmeza poderá estar maioritariamente relacionada com fatores genéticos e fenótipos das cultivares. Kyriacou *et al.* (2017b) destacaram que a seleção de porta-enxertos compatíveis com determinadas cultivares pode otimizar a firmeza dos frutos, adaptando as plantas a condições ambientais específicas e melhorando a qualidade do produto final, o que permite aos produtores responder às exigências do mercado. A diminuição da firmeza ao longo das colheitas, fenómeno estudado por Rentería *et al.* (2017) e Toor *et al.* (2020), surge do envelhecimento fisiológico das plantas ao longo das colheitas, pois a eficiência dos processos metabólicos e a capacidade de síntese de substâncias estruturais diminuem.

Os valores médios do pH mantiveram-se estáveis ao longo de praticamente todas as colheitas, com o valor médio de 4,3. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Estan *et al.* (2005), Rouphael *et al.* (2010) e Flores *et al.* (2010), onde a estabilidade do valor do pH deve-se à capacidade das plantas de regular o seu metabolismo ácido-base, independentemente do sistema radicular utilizado, sugerindo que a cultura do tomateiro apresenta uma capacidade intrínseca de regular sua acidez e pH. Relativamente à estável acidez titulável, valor médio de 0,34 g 100g Pf⁻¹, os mesmos autores indicam, ainda, que a enxertia não influencia este parâmetro sensorial.

Quanto à concentração de sólidos solúveis, os resultados obtidos no presente estudo indicam que as plantas não enxertadas e sem inoculação do fungo produziram frutos mais doces (4,9°Brix), face aos restantes tratamentos e, no geral, os frutos de tomate das plantas não enxertadas apresentaram valores de grau Brix superiores. Estes resultados vão ao encontro de Schwarz *et al.* (2013) e Kyriacou *et al.* (2017b), que destacam a complexidade das interações entre o porta-enxerto e a planta e que existem outros fatores associados, nomeadamente as práticas culturais exercidas e o ambiente onde estão inseridas as plantas. A percentagem de MS e o teor de açúcares são proporcionalmente diretos, ou seja, o teor em açúcares é maior, quanto maior for a matéria seca, outra explicação para os frutos de plantas enxertadas terem uma menor concentração de açúcares (Martínez-Ballesta *et al.*, 2010).

Vários autores têm vindo a demonstrar que a inoculação do fungo *P. chlamydosporia* não tem qualquer efeito sobre a qualidade dos frutos (Borrero *et al.*, 2015; Meyer *et al.*, 2016; Sharma *et al.*, 2020), mantendo-os comparáveis aos frutos produzidos por plantas não inoculadas. Isto sugere que o fungo atua principalmente na rizosfera, combatendo os NGR sem qualquer impacto, conforme se verificou no presente estudo.

5. CONCLUSÕES

A produtividade aumentou significativamente e a matéria seca dos frutos diminuiu nas plantas enxertadas (16,4 kg m⁻², 5,0%), em comparação com as plantas não enxertadas (13,4 kg m⁻², 5,4%), mas a inoculação com o fungo não influenciou nenhum destes parâmetros. O calibre dos frutos foi semelhante para todos os tratamentos, embora a percentagem de peso dos frutos maiores (≥ 102 mm) tenha sido tendencialmente maior nas plantas enxertadas (31,3 %), em comparação com as plantas não enxertadas (19,7%).

Não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos para a firmeza, acidez e pH dos frutos. No entanto, onde não se procedeu à inoculação do fungo, as plantas não enxertadas produziram frutos mais doces (4,9° Brix) em comparação com todos os tratamentos, e, no solo inoculado, as plantas não enxertadas apresentaram frutos com teores mais elevados de sólidos solúveis, em comparação com as plantas enxertadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrantes, I. M. De O., Bourne, J. M., Brito, I., Ciancio, A., Hirsch, P. R., Kerry, B. R., Lopez-Llorca, L. V., Mota, M. M., Santos, M. S. N. De A., Tzortzakakis, E. A. e Verdejo-Lucas, S., 2002. *A Manual for Research on Verticillium chlamydosporium, a potential biocontrol agent for root-knot nemátodes*. Eds. Kerry, B.R e Bourne, J. M., IOBC/WPRS, Gent, 84 pp
- Abrantes, I., Santos, M. C. V., Clara, M. I., Fernandes, J. E. e Marques, M. L., 2007. Principais doenças e pragas do tomateiro e meios de luta. Instituto do Ambiente e Vida, Departamento de Zoologia, Universidade de Coimbra, 1ª Ed., Coimbra, 176pp.
- Almeida, D., 2006. Manual de culturas hortícolas. Editorial Presença. Volume II, 325pp.
- Altieri, M. A., 1995. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press.
- Antonious, G. F., & Meyer, S. L. F., 2013. Eco-Friendly Management of Root-Knot Nemátodes with Organic Amendments and Endophytic Fungus *Pochonia chlamydosporia* in Organic Greenhouse Tomato Production. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 48(7), 596-604.
- Araújo, F. F., Silva, J. F. V. e Araújo, A. S. F., 2002. Influência de *Bacillus subtilis* na eclosão, orientação e infecção de *Heterodera glycines* em soja. *Ciência Rural*, 32(2), 197-203.
- Bird, A. F., 1961. The ultrastructure and histochemistry of a nemátode-induced giant cell. *Journal of Biophysics and Biochemical Cytology*, 11(2), 139-153.
- Borrero, C., Ordovás, J., & Trillas, I., 2015. Effect of biocontrol agents on the population of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. *Nematopica*, 45(1), 29-37.
- Brady, N. C., & Weil, R. R., 2016. *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson.
- Carvalho, A. M., Pinto, P., & Almeida, J. A., 2015. "Caracterização e manejo de solos arenosos na região litoral norte de Portugal." *Revista de Ciências Agrárias*, 38(2), 123-135.
- Carvalho, J. L., e Pagliuca L. G., 2007. Tomate, um mercado que não para de crescer globalmente. *Hortifruti Brasil*, 58, 6 – 14. Site disponível: http://www.dag.ufla.br/site/_adm/upload/file/Luciane%20Vilela%20Resende/toma e%20artigo.pdf
- Castagnone-Sereno, P., 1994. Genetics of *Meloidogyne* virulence against resistance genes from Solanaceous crop. Em L. F. D. C. De Giorgi, & B. McK, *Advances in Molecular Plant Nematology* (pp. 261–276). Plenum Press, NY,USA,.
- Castagnone-Sereno, P., 2012. *Meloidogyne enterolobii* (=M. mayaguensis): profile of an emerging, highly pathogenic, root-knot nemátode species. *Nematology*, 14(2), 133-138.
- Chen Z. X., Dickson D. W., McSorley R., Mitchell D. J. e Hewlett T. E., 1996. Suppression of *Meloidogyne arenaria* race 1 by soil application of endospores of *Pasteuria penetrans*. *Journal of Nematology*, 28, 159-168.
- Chitwood, D. J., 2002. Phytochemical based strategies for nematod control. *Annual Review of Phytopathology* 40: 221-49
- Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M., & Rea, E., 2010. Effect of grafting on growth, yield, and nitrogen uptake of tomato and eggplant under saline and non-saline conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56(5), 777-782.
- Colla, G., Roupahel, Y., Leonardi, C., & Bie, Z., 2010. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 147-155.

- Costa, J. M. e Heuvelink, E., 2005. Introduction: The tomato crop and industry. In Tomatoes, Eds. Heuvelink, E., CABI Publishing, Oxfordshire. 1-19.
- Costa, S., 2015. Ecologia de nemátodes e seu interesse na enxertia de plantas hortícolas (Parte II/II). Em Agrotec – Revista técnico-científica agrícola (pp. 14: 28–30).
- Dam B.V., Goffau M., Hilmi M., Jeude, J., Naika S., 2005. A cultura de tomate. Produção, processamento e comercialização. Agromisa/CTA.
- D'Amato, R., Valentini, N., & Colaiacomo, G., 2019. Mechanical vibration for pollination improvement in protected cultivation of tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 246, 703-708.
- Davies, K. G., Fargette, M., Balla, E., Daudi, A., Dupuy, L. X., Gowen, S. R., ... & Sikora, R. A., 2018. Chapter 9 - Advances in Understanding Mechanisms of Biological Control of Plant-Parasitic Nemátodes. In R. Sikora, D. Coyne, J. Hallmann, P. Timper, & J. Stack (Eds.), *Plant Parasitic Nemátodes in Sustainable Agriculture of North America* (Vol. 2, pp. 155-180). Springer International Publishing.
- Davies, K. G., Kerry, B. R. e Flynn, C. A., 1988. Observations on the pathogenicity of *Pasteuria penetrans*, a parasite of root-knot nemátodes. *Annals of Applied Biology*, 112, 1491-1501.
- Davies, K. G., Redden, M., Gowen, S. R., & Devine, K., 2011. Cuticle heterogeneity as exhibited by plant-parasitic nemátodes: implications for the parasitic success of *Pochonia chlamydosporia*. *Journal of Nematology*, 43(1), 59-67.
- Davis A.R., Perkins-Veazie P., Sakata Y., López-Galarza S., Maroto J.V., Lee S.G., Huh Y.C., Sun Z., Miguel A., King S.R., Cohen R., Lee J.M., 2008. Cucurbit Grafting, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27, 50-74.
- Davis, A. R., Perkins-Veazie, P., Hassell, R., & Levi, A., 2008. "Improving fruit quality in vegetables and fruits using the grafting process." In Y. Erner and S. Matsuda (Eds.), *Horticultural Reviews* (Vol. 34, pp. 43-97). John Wiley & Sons, Inc.
- De Leij, F., Kerry, B., e Dennehy, J., 1992. The effect of fungal application rate and nemátode density on the effectiveness of *Verticillium chlamydosporium* as a biological control agent for *Meloidogyne incognita*. *Nematologica. Revue de Nématologie*, 112-122.
- Di Giola, F., Serio, F., Buttaro, D., Ayala, O. e Santamaria, P., 2010. Influence of rootstock on vegetative growth, fruit yield and quality in 'Cuore di Bue', an heirloom tomato. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85, 6, 477–482.
- Dorais, M., 2001. The use of greenhouse and growth chamber technologies for research and production of high-value crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 81(3), 367-384.
- Dropkin, V. H., 1969. The necrotic reaction of tomatoes and other hosts resistant to *Meloidogyne*: reversal by temperature, *Phytopathology*, 59, 1632-1637.
- Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Perez-Alfocea, F., Flowers, T. J., & Bolarin, M. C., 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *Journal of Experimental Botany*, 56(412), 703-712.
- Fargette, M., Phillips, M. S., & Blok, V. C., 2014. Chapter Two - Root-knot Nemátodes and Their Control. In M. R. Pimentel (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 125, pp. 307-334). Academic Press.
- Ferreira, C. S., Castro, P. M. L., & Marques, A. P. G. C., 2016. "Strategies to ameliorate soil fertility in sandy soils of coastal Portugal." *Soil Use and Management*, 32(2), 156-163.

- Flores, F. B., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., Campos, J. F., Garcia-Abellan, J. O., Egea, M. I., Fernandez-Garcia, N., Romojaro, F., & Bolarin, M. C., 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 211-217.
- FAO, 2021. "The impact of disasters and crises on agriculture and food security". Food and Agriculture Organization. Disponível em: FAO.
- Fosu-Nyarko, J., & Jones, M. G. K., 2016. Chapter 14 - Host-Plant Resistance to Root-Knot Nemátodes (*Meloidogyne* spp.): A Review. In M. E. Abrol & S. Pessarakli (Eds.), *Handbook of Plant and Crop Stress* (4th ed., pp. 319-347). CRC Press.
- Gliessman, S. R., 2007. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems* (2nd ed.). CRC Press.
- González J., 1999. El injerto en hortalizas. In: Vilarnau A. e González J., *Planteles: semilleros, viveros*. Reus: Ediciones de Horticultura, 121-128.
- Goswami, B. K., Pandey, R. K., Rathour, K. S., Bhattacharya, C. e Singh, L., 2006. Integrated application of some compatible biocontrol agents along with mustard oil seed cake and furadan on *Meloidogyne incognita* infecting tomato plants. *Journal of Zhejiang Universal Sciences B*, 7, 873-875.
- GPP. 2019. Sistema de informação de mercados agrícolas. Site disponível: Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (Última atualização: 2019). URL: <http://www.gpp.pt:8080/sima/default/index?tm=12>. Consultado em 1 de Jul. 2024.
- GPP., 2024. Sistema de informação de mercados agrícolas. Site disponível: Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (Última atualização: 2019). URL: <https://regsim.gpp.pt/regsim/consulta/mercados?tm=8>. Consultado em 1 de Jul. 2024.
- Gullino, M. L., Gilardi, G., & Garibaldi, A., 2010. Critical aspects of the cultivation of tomatoes in soil and soilless culture. *Phytopathologia Mediterranea*, 49(3), 169-174.
- Heuvelink, E., 2005. *Tomatoes*. CABI Publishing.
- Hogendoorn, K., Steen, Z., & Schwarz, M. P., 2006. Native Australian carpenter bees as a potential alternative to introduced honeybees for tomato pollination. *Journal of Apicultural Research*, 45(4), 220-224.
- Huang, W. K., Ji, H. L., Gheysen, G., Debode, J., Kyndt, T., & Shen, Z. R., 2019. The root-knot nemátode *Meloidogyne graminicola* alters root carbohydrate metabolism to promote infection in rice. *Plant Physiology*, 179(3), 1353-1370.
- INE, 2022. Estatísticas Agrícolas 2022. Disponível em: INE - Estatísticas Agrícolas
- IPMA, 2023. Instituto Português do Mar e da Atmosfera., 2023. "Clima de Portugal: Normais Climatológicas 1981-2010." (Última atualização: 2019). URL: <https://regsim.gpp.pt/regsim/consulta/mercados?tm=8>. Consultado em 1 de Jul. 2024.
- Jones, J. B., 2013. *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home Garden* (2nd ed.). CRC Press.
- Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Palomares-Rius, J. E., Wesemael, W. M., & Perry, R. N., 2013. Top 10 plant-parasitic nemátodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 14(9), 946-961.
- Kaloshian, I., Williamson, V., G. M., D. L., & B.B, W., 1996. Resistance-breaking' nemátodes indentified in California tomatoes. *California Agriculture*, 50,18-9.
- Karssen, G., & Moens, M., 2006. Root-knot nemátodes. In *Plant Nematology* (pp. 59-90). CABI.

- Kerry, B. R., 2000. Rhizosphere interactions and the exploitation of microbial agents for the biological control of plant-parasitic nemátodes. *Annual Review of Phytopathology*, 38(1), 423-441.
- Kerry, B. R., & Hidalgo-Díaz, L., 2004. Application of *Pochonia chlamydosporia* in combination with organic amendments to manage root-knot nemátodes on vegetables in Cuba. *International Journal of Nematology*, 14(1), 195-202.
- King, S. R., Davis, A. R., Zhang, X., & Crosby, K., 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 106-111.
- Kubota, C., McClure, M. A., Kokalis-Burelle, N., Bausher, M. G., & Roskopf, E. N., 2008. Vegetable grafting: History, use, and current technology status in North America. *HortScience*, 43(6), 1664-1669.
- Kyriacou, M. C., Roupael, Y., Colla, G., Zrenner, R., & Schwarz, D., 2017a. Vegetable grafting: The implications of a growing agronomic imperative for vegetable fruit quality and nutritive value. *Frontiers in Plant Science*, 8, 741.
- Kyriacou, M. C., Soteriou, G. A., Colla, G., & Roupael, Y., 2017b. Grafting as a tool to improve fruit quality and postharvest performance of vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 195-217.
- Lee, J. M., & Oda, M., 2003. Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews*, 28, 61-124.
- Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Echevarria, P. H., Morra, L., & Oda, M., 2010. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93-105.
- Lee, J. M., Oda, M., & Jahn, M., 1999. Development of grafted tomatoes for the commercial greenhouse industry. *HortScience*, 34(1), 29-33.
- Leonardi, C., & Giuffrida, F., 2006. Variation of plant growth and macronutrient uptake in grafted tomatoes and eggplants on three different rootstocks. *European Journal of Horticultural Science*, 71(3), 97-101.
- Louws, F. J., Rivard, C. L., & Kubota, C., 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 127-146.
- Manzanilla-López, R. H., Esteves, I., Finetti-Sialer, M. M., Hirsch, P. R., Ward, E., Devonshire, J., & Hidalgo-Díaz, L., 2013. *Pochonia chlamydosporia*: Advances and challenges to improve its performance as a biological control agent of sedentary endo-parasitic nemátodes. *Journal of Nematology*, 45(1), 1-7.
- Martínez-Ballesta, M. C., Alcaraz-López, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C., e Carvajal, M., 2010. Physiological aspects of rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae*, 127, 2, 112–118.
- Meyer, S. L. F., Huettel, R. N., Liu, X. Z., & Carta, L. K., 2016. Host-parasite interactions of nematophagous fungi and cyst and root-knot nemátodes. *Journal of Nematology*, 48(4), 295-303.
- Mitkowski, N.A. e G.S. Abawi., 2011. Nematóides das galhas. (Portuguese translation by E.A. Lopes, R. Dallemole-Giaretta, and B.S.Vieira, 2011. The Plant Health Instructor. DOI:10.1094/PHI-I-2011-0329-01
- Moens, M., Perry, R. N., & Starr, J. L., 2009. *Meloidogyne Species - a Diverse Group of Novel and Important Plant Parasites*. In Perry, R. N., Moens, M., & Starr, J. L. (Eds.), *Root-Knot Nemátodes* (pp. 1-17). CABI.
- Mohammed, S. M. T., Humidan, M., Boras, M. e Abdalla, O. A., 2009. Effect of Grafting Tomato on Different Rootstocks on Growth and Productivity under Glasshouse Conditions. *Asian Journal of Agricultural Research*, 3, 2, 47-74.

- Mourão, I., & Brito, L., 2014. A enxertia em culturas hortícolas. Em *Agrotec – Revista Técnico-Científica Agrícola* (pp. 12: 43–46).
- Mourão, I., e Brito, L., 2015. A enxertia em culturas hortícolas. *Site disponível: Agrotec* (última atualização: 2019), URL: <http://www.agrotec.pt/noticias/enxertia-em-culturas-hortícolas/>. Consultado em 01 de julho. 2024.
- Nico, A. I., Rapoport, H. F., Jiménez-Díaz, R. M., & Castillo, P., 2004. Incidence and population density of plant-parasitic nemátodes infecting olive planting stocks in southern Spain. *Plant Disease*, 88(10), 1048-1054.
- Nicol, J. M., Turner, S. J., Coyne, D. L., den Nijs, L., Hockland, S. e Maafi, Z. T., 2011. Current nemátode threats to world agriculture. In *Genomics and Molecular Genetics of Plant–Nemátode Interactions*, Eds. Jones, J. T., Gheysen, G. e Fenoll, C., Springer Science, 21–44.
- OECD, 2021. Agricultural Policy Monitoring and Evaluation. Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponível em: OECD.
- 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.
- Peet, M. M., & Welles, G., 2005. Greenhouse tomato production. In R. Dris, & S. M. Jain (Eds.), *Production Practices and Quality Assessment of Food Crops* (pp. 257-304). Springer.
- Peet, M. M., Willits, D. H., & Gardner, R., 1998. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress. *Journal of Experimental Botany*, 49(325), 2193-2200.
- Pereira, E. I. P., Alvarenga, I. C. A., & Gontijo, I., 2017. "Correção da acidez do solo e seu impacto na produtividade agrícola em solos arenosos do norte de Portugal." *Ciência do Solo*, 41(4), 789-798.
- Pérez-Alfocea, F., Balibrea, M. E., Santa Cruz, A., & Estan, M. T., 2022. Agronomical and physiological characterization of tomato plants and fruit yield under salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 45(6), 989-1003.
- Perry, R. N., Moens, M., & Starr, J. L. (Eds.), 2009. *Root-knot Nemátodes*. CAB International.
- Rentería, A., Pérez-Alfocea, F., Balibrea, M. E., & Pérez-Pérez, J. G., 2017. Nutrient depletion and calcium deficiency in tomato plants: effects on fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 220, 153-160.
- Rivard, C. L., & Louws, F. J., 2008. Grafting to manage soilborne diseases in heirloom tomato production. *HortScience*, 43(7), 2104-2111.
- Roberts, P. A., Dalmaso, G., Cap, & P, C.-S., 1990. Resistance in *Lycopersicon peruvianum* to isolates of Mi gene compatible *Meloidogyne* populations. *Journal of Nematology*, 22, 585–589.
- Rodriguez, R., & Moreno, M., 1999. The influence of temperature on pollen viability in tomatoes. *HortScience*, 34(1), 106-109.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., & Battistelli, A., 2010. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 17-24.
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., & Colla, G., 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 172-179.
- Sá, C. G. S. 2020. Avaliação de porta-enxertos parcialmente resistentes no controlo de nemátodes das galhas radiculares em tomateiro. Dissertação de mestrado em Agricultura Biológica. Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 111p. <http://hdl.handle.net/20.500.11960/2525>

- Salazar-Anton, W. e Guzman-Hernandez, T. J., 2013. Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agron. Mesoam*, 24, 419-426p.
- Santa-Cruz, A., Martínez-Rodríguez, M. M., Pérez-Alfocea, F., Romero-Aranda, R., & Bolarín, M. C., 2002. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. *Plant Science*, 162(5), 825-831.
- Santos, M. S. N., Nóbrega, R. S. A., & Souza, R. M., 2020. Nematóides do gênero *Meloidogyne* e suas implicações na cultura do tomateiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 20(2), 64-73.
- Sasser, J. N., & Freckman, D. W., 1987. A world perspective on nematology: The role of the society. In *Vistas on Nematology* (pp. 7-14). Society of Nematologists.
- Schwarz, D., Roupshael, Y., Colla, G., & Venema, J. H., 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 162-171.
- Sellitto, V. M., Curto, G., Dallavalle, E., Ciano, A., Colagiero, M., Pietrantonio, L., e Storari, M., 2016. Effect of *Pochonia chlamydosporia*-based formulates on the regulation of root-knot nemátodes and plant growth response. *Frontiers in Life Science*, 9(3), 177-181.
- Sharma, P., Sharma, S., & Chandel, Y. S., 2020. Effect of biocontrol agents on growth parameters, yield, and fruit quality of tomato under greenhouse conditions. *Journal of Plant Pathology*, 102(3), 587-595.
- Sharon, E., Bar-Eyal, M., Chet, I., Herrera-Estrella, A., Kleifeld, O. e Spiegel, Y., 2001. Biological Control of the Root-Knot Nemátode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. *The American Phytopathological Society*, 91, 7, 687-693.
- Sikora, R. A., Coyne, D. L., Hallmann, J., Timper, P., & Stack, J., 2018. Chapter 8 - Nemátode management in sustainable agriculture. In R. Sikora, D. Coyne, J. Hallmann, P. Timper, & J. Stack (Eds.), *Plant Parasitic Nemátodes in Sustainable Agriculture of North America* (Vol. 1, pp. 199-223). Springer International Publishing.
- Silva, A. M., Oliveira, P. J., & Araújo, A., 2015. "Impact of coastal winds on agriculture in the northern region of Portugal." *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 150-158.
- Silva, J., Giordano, L., Furumoto, O., Boiteux, L., França, F., Bôas, G., Branco, M., Medeiros, M., Marouelli, W., Silva, W., Lopes, C., Ávila, A., Nascimento, W. e Pereira, W., 2006. *Cultivo de Tomate para Industrialização*. Site disponível: Embrapa (última atualização em: 2019), URL: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/pragas_traca.htm. Consultado em: 01 de Jun. 2024.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (Eds.). (2012). *Crop Yield Response to Water*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Stirling, G. R., 2014. *Biological Control of Plant-parasitic Nemátodes*. CAB International.
- Stirling, G., 1991. Biological control of plant parasitic nemátodes. *CABI*.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Toor, R. K., Savage, G. P., & Heeb, A., 2020. Influence of semi-mature harvesting and post-harvest ripening on the quality of tomatoes. *Food Chemistry*, 323, 126748.

- Triantaphyllou, A. C., 1985. Cytogenetics, cytotaxonomy and phylogeny of root-knot nemátodes. In *An advanced treatise on Meloidogyne* (pp. 113-126). North Carolina State University Graphics.
- Trudgill, D. L., & Blok, V. C., 2001. Apomictic, polyphagous root-knot nemátodes: Exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 39, 53-77.
- Turhan, A., Ozmen, N., Serbeci, M. S. e Seniz, V., 2011. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Horticultural Science*, 38, 4, 142-149.
- Vale, F. X., Lopes, C. A., & Alvarenga, M. A., 2013. Doenças fúngicas, bacterianas e causadas por nematoides. Em M. Alvarenga, *Tomate: produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia* (p. 445). Lavras: UFLA.
- Venturini, E. M., Drummond, F. A., Hoshida, A. K., Dibble, A. C., & Stack, L. B., 2017. Pollination reservoirs for wild bee habitat enhancement in cropping systems: A review. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(2), 101-142.
- Viaene, N., & Abawi, G. S., 2000. *Hirsutella rhossiliensis* and *Verticillium chlamydosporium* as biological control agents of root-knot nemátodes. *Journal of Nematology*, 32(1), 1-9.
- Viglierchio, D. R., 1991. The World of Nemátodes, a fascinating component of the animal kingdom. University of California, College of Agriculture and Environmental Science, Davis, California.
- Williamson, V. M., & Gleason, C. A., 2003. Plant-nemátode interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(4), 327-333.
- Williamson, V. M., & Hussey, R. S., 1996. Nemátode pathogenesis and resistance in plants. *The Plant Cell*, 8(10), 1735-1745.
- Williamson, V. M., 1998. Root-knot nemátode resistance genes in tomato and their potential for future use. *Annual Review Phytopathology*, 36, 1, 277-293.
- Zasada, I. A., Halbrendt, J. M., Kokalis-Burelle, N., LaMondia, J., McKenry, M. V., & Noling, J. W., 2010. Managing nemátodes without methyl bromide. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 311-328.
- Zavala-Gonzalez, E. A., Escudero, N., Lopez-Moya, F., Aranda-Martinez, A., Exposito, A., Ricaño-Rodríguez, J., e Lopez-Llorca, L. V., 2015. Some isolates of the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* promote root growth and reduce flowering time of tomato. *Annals of applied biology*, 166(3), 472-483.
- Zhang, S., Gan, Y., Xu, B., Wu, H., Chen, X., Xu, X., ... & Ge, Z., 2020. The Nematophagous Fungus *Pochonia chlamydosporia* Suppresses the Population of *Meloidogyne incognita* and Promotes Tomato Growth in Greenhouse and Field Experiments. *Plants*, 9(1), 17.
- ZhenDe, C., PeiSheng, W., Ying, Z., YuLing, J., Peng, L., ZongJun, W. e JunJie, H., 2012. Effects of different resistant rootstocks on yield and quality of grafted tomato and control effects of *Meloidogyne incognita*. *China Vegetables*, 20, 83-87
- Zhou, Y., Wang, Y., & Zhu, L., 2018. Plant physiology and biochemistry responses and tolerant mechanisms to salt stress in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 540-549.

ANEXOS

Anexo 1: Interior da estufa onde decorreu o ensaio, talhões com filme de polietileno preto usado para o controlo de plantas infestantes.



Anexo 2: Identificação dos tratamentos utilizados no ensaio.



Anexo 3: Clamidospórios do fungo *Pochonia Chlamydosporia* misturados com areia para aplicação nos talhões dos tratamentos BF e EF.



Anexo 4: Colheita dos frutos e identificação de acordo com os tratamentos.



Anexo 5: Processo de avaliação qualitativa dos frutos, nomeadamente: (i) medição da consistência da polpa com recurso a um penetrómetro; (ii) medição do grau de maturação com recurso a um colorímetro; (iii) obtenção de sumo dos frutos e preparação deste – peso fresco e percentagem de MS; (iv) análise da acidez titulável do sumo de tomate.

