



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

AIDA SATIE SUZUKI FUKUJI

**DIVERSIDADE GENÉTICA E RESISTÊNCIA À *MELOIOGYNE*  
*ENTEROLOBII* EM PORTA-ENXERTO DE TOMATE**

---

Londrina  
2024

AIDA SATIE SUZUKI FUKJI

**DIVERSIDADE GENÉTICA E RESISTÊNCIA À *MELOIOGYNE*  
*ENTEROLOBII* EM PORTA-ENXERTO DE TOMATE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo Gonçalves.

Londrina  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

FUKUJI, AIDA SATIE SUZUKI FUKUJI.

DIVERSIDADE GENÉTICA E RESISTÊNCIA À MELOIOGYNE ENTEROLOBII EM PORTA-ENXERTO DE TOMATE / AIDA SATIE SUZUKI FUKUJI FUKUJI. - Londrina, 2024.

91 f.

Orientador: LEANDRO SIMÕES AZEREDO GONÇALVES GONÇALVES.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.  
Inclui bibliografia.

1. Nematóide das galhas - Tese. 2. Tomate - Tese. 3. Resistência genética - Tese. 4. Qualidade de fruto - Tese. I. GONÇALVES, LEANDRO SIMÕES AZEREDO GONÇALVES. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

AIDA SATIE SUZUKI FUKUJI

**DIVERSIDADE GENÉTICA E RESISTÊNCIA À *MELOIOGYNE*  
*ENTEROLOBII* EM PORTA-ENXERTO DE TOMATE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo  
Gonçalves  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dra. Débora Cristina Santiago  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dra. Lígia Erpen Dalla Corte  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Londrina, 28 de março de 2024.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo Gonçalves, meu orientador, amigo, inspiração, que têm sido um alicerce muito importante na minha vida acadêmica. Obrigada por confiar no meu trabalho, pela ajuda nos momentos difíceis.

À Prof<sup>a</sup> Dra. Andressa Cristina Zamboni Machado, pelo conhecimento ministrado nas aulas de Nematologia. Pela paciência, por toda ajuda durante os anos de mestrado.

À Prof<sup>a</sup> Dra. Débora Cristina Santiago, pelos ensinamentos sobre Nematologia.

Aos professores que contribuíram na construção do conhecimento nos anos de pós-graduação.

Aos meus pais, Yuei Fukuji e Marina Yoshie Suzuki Fukuji, em especial ao meu pai, por sempre me ouvir, me apoiar em todas as fases difíceis que passei no último ano. Ao meu irmão e cunhada, Anderson e Karina, pelo cuidado comigo.

Aos colegas do Laboratório de Ecofisiologia e Biotecnologia Agrícola (LEBA), da Universidade Estadual de Londrina. Em especial, Alison Fernando Nogueira, Silas Mian, Antoni Wallace Marcos, Renato Barros de Lima Filho, Cleverson Alves, Ana Clara Morini, Daniel Fernando Viana Fagundes, Emanuelle Venancio Conninck de Almeida, Pedro Henrique Martins Domingues, Henry Bogusch Cava, Natan Panont Moraes e demais membros do laboratório. Não citarei todos os nomes, mas saibam que agradeço a cada um pela ajuda na concretização da dissertação. Obrigada por tudo.

Aos colegas de pós-graduação, Letícia Elisiane Beluzzo, José Milton Faria Júnior, Laura Souza Santos, pelo apoio, pela ajuda, pelas conversas, pelo suporte que me ofereceram.

À Karoline Barbosa Pontes (*in memoriam*) e família Pontes. Nunca achei que seria tão difícil de escrever agradecimentos. Mas você surpreendeu a todos. Queria agradecer por ter cuidado de mim, por ter sido um anjo protetor na minha vida, por me mostrar como ter mais paciência, a ser uma pessoa melhor. São tantas coisas as quais sou grata. Muito obrigada Karol.

## RESUMO

FUKUJI, Aida Satie Suzuki. **Diversidade genética e resistência à *Meloidogyne enterolobii* em porta-enxertos de tomate**. 2024. 91 folhas. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

Muitos são os desafios encontrados para o cultivo e produção do tomate, sendo as doenças de solo um importante fator limitante devido à forte influência na produtividade e a dificuldade na erradicação de alguns patógenos em sistemas de cultivo. No Brasil, os nematoides de galhas são considerados um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores. Entre as estratégias de controle está o uso de porta-enxertos devido à sua eficácia no controle de doenças. Além disso, alguns porta-enxertos demonstram a capacidade potencializar a absorção de água e nutrientes do solo. Esse efeito sinérgico contribui para o aumento do vigor e da produtividade das plantas, proporcionando resultados promissores na agricultura. Sendo assim, o presente projeto está dividido em dois capítulos, sendo o primeiro foi avaliar a resistência de diversos acessos de tomates silvestres às espécies de nematoides *Meloidogyne javanica*, *M. enterolobii*, *M. incognita* e *M. paranaensis*, e de porta-enxertos de tomate e suas combinações exclusivamente ao *M. enterolobii*, buscando elucidar a base genética da resistência a esse patógeno; e o segundo avaliar diferentes porta-enxertos comerciais de tomate quanto a características agrônômicas, bioquímicas e moleculares. Para capítulo 1, foram avaliadas oito espécies silvestres de tomate (*Solanum galapagense*, *S. pimpinellifolium*, *S. chmielewskii*, *S. chilense*, *S. peruvianum*, *S. habrochaites*, *S. neoricki* e *S. pennellii*) e 15 porta-enxertos comerciais. O acesso de *S. peruvianum* apresentou os menores valores de fator de reprodução (RF) e nematoides por grama de raiz (NGR), indicando uma importante fonte de resistência, especialmente contra *M. enterolobii*. Os porta-enxertos de tomate avaliados foram suscetíveis a *M. enterolobii*, embora alguns apresentassem valores relativamente baixos de RF e NGR, indicando um grau de tolerância. A análise dialélica revelou efeitos significativos para as capacidades gerais e específicas de combinação, indicando a importância de efeitos aditivos e não

aditivos na herança da resistência. Os porta-enxertos TD1, Embajador e Shield se destacaram, sendo indicado para uso em programas de melhoramento visando o desenvolvimento de porta-enxertos tolerantes ao *M. enterolobii*. Para o segundo capítulo, os mesmos 15 porta-enxertos foram avaliados para diferentes características agrônômicas e bioquímicas dos frutos, utilizando a cultivar Trindade como enxerto. Além disso, esses porta-enxertos foram caracterização com base no marcador molecular AFLP e com base nessas informações sete porta-enxertos foram selecionados para análise dialélica com base nas mesmas características agrônômicas e bioquímicas dos frutos. Uma ampla variabilidade de resposta para as características agrônômicas e bioquímicas dos frutos foi observado entre os diferentes porta-enxertos, sendo verificado incremento no número de frutos e, conseqüentemente, no rendimento. Além disso, foi observado modificações bioquímicas nos frutos, principalmente, no aumento de açúcar redutores e vitamina C, e redução para o ter de licopeno. Essa ampla diversidade, também foi verificado do ponto de vista molecular sendo está relacionada, principalmente, a genealogia e a sua natureza (intra e interespecífico) dos porta-enxertos. Pela análise dialélica, foi observado ausência de significância para as características relacionadas com rendimento (TF, TCF, TFM e CFM), indicando um desempenho similar desses cruzamentos e inviabilizando a seleção para essas características.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum* L.; caracterização agrônômica; nematoide das galhas; resistência genética; capacidade de combinação.

## ABSTRACT

FUKUJI, Aida Satie Suzuki. **Genetic diversity and resistance to *Meloidogyne enterolobii* in tomato rootstocks**. 2024. 91 folhas. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

Many are the challenges encountered in cultivating and producing tomatoes, with soil diseases being a significant limiting factor due to their strong influence on productivity and the difficulty in eradicating some pathogens in cultivation systems. In Brazil, root-knot nematodes are considered one of the main problems farmers faces. Among the control strategies is the use of rootstocks due to their effectiveness in controlling diseases. In addition, some rootstocks demonstrate the potential to enhance water and nutrient absorption from the soil. This synergistic effect contributes to increased vigor and productivity of the plants, providing promising results in agriculture. Therefore, this project is divided into two chapters; the first aims to evaluate the resistance of various wild tomato accessions to the nematode species *Meloidogyne javanica*, *M. enterolobii*, *M. incognita*, and *M. paranaensis*, and tomato rootstocks and their combinations exclusively to *M. enterolobii*, seeking to elucidate the genetic basis of resistance to this pathogen. The second is to evaluate different commercial tomato rootstocks for agronomic, biochemical, and molecular characteristics. For Chapter 1, eight wild tomato species (*Solanum galapagense*, *S. pimpinellifolium*, *S. chmielewskii*, *S. chilense*, *S. peruvianum*, *S. habrochaites*, *S. neoricki*, and *S. pennellii*) and 15 commercial rootstocks were evaluated. The *S. peruvianum* accession showed the lowest values of reproduction factor (RF) and nematodes per gram of root (NGR), indicating an important source of resistance, especially against *M. enterolobii*. The evaluated tomato rootstocks were susceptible to *M. enterolobii*, although some presented relatively low RF and NGR values, indicating a degree of tolerance. The diallel analysis revealed significant effects for the general and specific combining abilities, indicating the importance of additive and non-additive effects in the inheritance of resistance. The rootstocks TD1, Embajador, and Shield stood out, and breeding programs were recommended to develop rootstocks tolerant to *M.*

*enterolobii*. For the second chapter, the same 15 rootstocks were evaluated for different agronomic and biochemical fruit characteristics, using the 'Trinidad' cultivar as a graft. Moreover, these rootstocks were characterized based on the molecular marker AFLP, and based on this information, seven rootstocks were selected for diallel analysis based on the same agronomic and biochemical fruit characteristics. A wide variability of response for the agronomic and biochemical fruit characteristics was observed among the different rootstocks, with an increase in the number of fruits and, consequently, in yield. Furthermore, biochemical modifications in the fruits were observed, mainly in the increase of reducing sugars and vitamin C, and reduction in the content of lycopene. This broad diversity was also observed from a molecular standpoint, related to genealogy and the rootstocks' nature (intra and interspecific). Through the diallel analysis, a lack of significance for characteristics related to yield (TF, TCF, TFM, and CFM) was observed, indicating a similar performance of these crossings, and rendering selection for these characteristics unfeasible.

**Key-words:** *Solanum lycopersicum* L.; agronomic characterization; Root-knot nematodes; genetic resistance; combining ability.

## LISTA DE FIGURAS

- Figure 1** – Spearman correlation analysis of the reproduction fator (RF) and nematodes per gram of root (NGR) evaluated in different tomato genotypes (comercial and wild) for the control of *Meloidogyne paranaensis*, *M. incognita*, *M. javanica* and *M. enterolobii* in greenhouse .....52
- Figure 2** – Principal componente analysis (A) and hierarchical clustering UPGMA based on Euclidean distance (B) of the reproduction fator and nematodes per gramo f root evaluated in different tomato genotupes (commercial and wild) for the control of *Meloidogyne paranaenses*, *M. incognita*, *M. javanica* and *M. enterolobii* in greenhouse .....53
- Figure 3** – Estimate of the general combining ability for seven tomato rootstocks related to nematodes per gramo f roots inoculated with *Meloidogyne enterolobii*.....57
- Figure 4** – Estimate of the specific combining ability for seven tomato rootstocks related to nematodes per gram of roots inoculated with *Meloidogyne enterolobii*.....58
- 
- Figura 1** – Análise de correlação entre 16 características agronômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate .....75
- Figura 2** – Análise de componentes principais (a) e agrupamento hierárquico de Ward com base na distância euclidiana padronizada (b) entre 16 características agronômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate.....76
- Figura 3** – Análise bayesiana (a) e agrupamento hierárquico de Ward utilizando a distância de Jaccard (b) com base em marcadores AFLP em 15 porta-enxertos de tomate .....77

## LISTA DE TABELAS

<b>Table 1</b> – Resistance características to different soil pathogens of the 15 rootstock cultivars and their respective companies.....	47
<b>Table 2</b> – ANOVA-type statistic and means for evaluating different tomato genotypes (comercial and wild) for control of <i>Meloidogyne paranaensis</i> , <i>M. incognita</i> , <i>M. javanica</i> , and <i>M. enterolobii</i> in a greenhouse .....	50
<b>Table 3.</b> Nematode assessment per gram of root of different tomato genotypes (commercial and wild) for the control of <i>Meloidogyne paranaensis</i> , <i>M. incognita</i> , <i>M. javanica</i> , and <i>M. enterolobii</i> in a greenhouse .....	51
<b>Table 4.</b> Anova type statistic and averages for the evaluation of different tomato rootstocks for control of <i>Meloidogyne enterolobii</i> in greenhouse.....	54
<b>Table 5.</b> Nematode evaluation per gram of root of different tomato rootstocks for control of <i>Meloidogyne enterolobii</i> in greenhouse. ....	55
<b>Table 6</b> – Estimate of the mean squares for tomato rootstock for general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA), residual effects, and quadratic components of GCA ( $\hat{\phi}_g^2$ ) and SCA ( $\hat{\phi}_s^2$ ) related to nematodes per gram of roots inoculated with <i>Meloidogyne enterolobii</i> .....	56
<b>Tabela 1</b> – Características de resistência a diferentes fungos de solos dos 15 cultivares comerciais de porta-enxerto e suas respectivas empresas que desenvolveram.....	66
<b>Tabela 2</b> – Análise da deviance, acurácia, herdabilidade e médias genotípicas preditas para 16 características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes porta-enxertos .....	72
<b>Tabela 3</b> – Análise dialélica para 16 características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes híbridos de porta-enxerto de tomate.....	78
<b>Tabela 4</b> – Capacidade geral de combinação para características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes híbridos de porta-enxerto de tomate.....	79
<b>Tabela 5</b> – Capacidade específica de combinação para características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes híbridos de porta-enxerto de tomate.....	80
<b>Tabela S1</b> – Valores genotípicos preditos para oito características agrônômicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate.....	73
<b>Tabela S2</b> – Valores genotípicos preditos para oito características bioquímicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate.....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Acidez titulável
CGC	Capacidade geral de combinação
CEC	Capacidade específica de combinação
CFM	Massa de comercial de frutos
CTP	Produção comercial dos frutos
DPPH	Atividade antioxidante
Firmness	Firmeza
Lycopene	Licopeno
Length	comprimento
MASS	Massa do fruto
MF	Massa total de frutos
PCA	Análise de componentes principais
PT	Espessura do pericarpo
SS	Sólidos solúveis totais
TCF	Número comercial de frutos
TPC	Compostos fenólicos totais
TF	Número total de frutos
TFM	Massa total de frutos
TP	Produção total de frutos
VITC	Vitamina C
UEL	Universidade Estadual de Londrina
Width	Diâmetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO TOMATE .....	16
2.2	PRODUÇÃO DE TOMATE ORGÂNICO EM CULTIVO PROTEGIDO .....	17
2.3	PRINCIPAIS DOENÇAS DE SOLO NA CULTURA DO TOMATEIRO .....	18
2.4	BIOLOGIA DO GÊNERO <i>MELOIDOGYNE</i> .....	20
2.5	MANEJO E CONTROLE DE <i>MELOIDOGYNE</i> .....	22
2.5.1	Rotação de cultura .....	23
2.5.1	Controle químico .....	23
2.5.1	Controle biológico.....	25
2.5.1	Resistência genética .....	27
2.5.1	Porta-enxerto na cultura do tomateiro .....	28
2.5	REFERÊNCIAS .....	30
<b>3</b>	<b>ARTIGO 1 – Avanços no melhoramento de tomateiro para resistência à <i>Meloidogyne enterolobii</i>: uma análise de acessos silvestres e porta-enxertos comerciais</b> .....	<b>43</b>
3.1	INTRODUCTION .....	45
3.2	MATERIAL LAND METHODS .....	46
3.2.1	Plant material .....	46
3.2.2	Evaluation for resistance to <i>Meloidogyne</i> spp. ....	47
3.2.3	Diallel crosses .....	48
3.2.4	Data analysis.....	48
3.3	RESULTS AND DISCUSSION .....	49
3.3.2	Evaluation of wild tomatoes rootstocks for resistance to <i>Meloidogyne</i> spp.....	49
3.3.2	Evaluation of tomatoes rootstocks for resistance to <i>Meloidogyne enterolobii</i> .....	53
3.3.3	Diallel analysis.....	54
3.4	CONCLUSION.....	58

3.5	REFERÊNCIAS .....	60
<b>4</b>	<b>ARTIGO 2 – Diversidade genética e análise dialélica de porta-enxerto de tomate para agricultura orgânica .....</b>	<b>62</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	64
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	65
4.2.1	Material vegetal .....	66
4.2.2	Condições experimentais .....	67
4.2.3	Características agronômicas avaliadas .....	67
4.2.4	Características físico-químicas dos frutos avaliadas .....	67
4.2.5	Caracterização molecular dos porta-enxertos .....	68
4.2.6	Análise dialélica .....	69
4.2.7	Análise dos dados .....	70
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	71
4.3.1	Análise de deviance .....	71
4.3.2	Valores genotípicos preditos e correlação .....	73
4.3.3	Análise multivariada .....	76
4.3.4	Análise molecular – AFLP .....	77
4.3.5	Análise dialélica .....	77
4.4	DISCUSSÃO .....	81
4.5	CONCLUSÕES .....	84
4.6	REFERÊNCIAS .....	85
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das principais olerícolas cultivadas no mundo, com uma produção mundial estimada de 187 milhões de t, com crescimento médio de 3,0 milhões t ano<sup>-1</sup> nos últimos dez anos (FAO, 2024). Além do sabor, o fruto do tomate contém diversos compostos benéficos a saúde, como os compostos fenólicos (ácidos fenólicos e flavonóides), carotenoides (licopeno,  $\alpha$  e  $\beta$ -caroteno), vitaminas (ácido ascórbico e vitamina A) e glicoalcalóides (tomatina) que estão associados à prevenção de diversas doenças, como câncer, doenças degenerativas e cardiovasculares (ALI *et al.*, 2021; VATS *et al.*, 2022). Além disso, são uma das olerícolas mais versáteis, sendo consumida *in natura* e utilizada para o preparo de uma ampla gama de produtos e subprodutos.

Muitos são os desafios encontrados para o cultivo e produção do tomate, sendo as doenças de solo um importante fator limitante devido à forte influência na produtividade e a dificuldade na erradicação de alguns patógenos em sistemas de cultivo (CHENG *et al.*, 2021). No Brasil, os principais patógenos de solo que infectam o tomateiro cultivado em ambiente protegido são *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahliae*, *Ralstonia solanacearum* e os nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.) (LOPES; REIS, 2011). Entre as estratégias de controle, o uso de porta-enxertos tem ganhado destaque entre agricultores brasileiros devido à sua eficácia no controle de doenças. Além disso, algumas cultivares demonstram a capacidade potencializar a absorção de água e nutrientes do solo. Esse efeito sinérgico contribui para o aumento do vigor e da produtividade das plantas, proporcionando resultados promissores na agricultura (LOPES; MENDONÇA, 2016). No entanto, a seleção do porta-enxerto é um passo fundamental para o sucesso da enxertia e do cultivo.

A resistência dos porta-enxertos aos patógenos do solo é uma das principais características consideradas no processo de seleção do porta-enxerto. No entanto, é essencial analisar outras características igualmente relevantes, tais como as taxas de germinação das sementes de porta-enxertos, a emergência homogênea das sementes do porta-enxerto, a compatibilidade entre os porta-enxertos e a copa, bem como a influência do porta-enxerto na qualidade dos frutos (BAYINDIR; KANDEMIR, 2023). Além disso, a arquitetura do sistema radicular é também uma característica importante do porta-enxerto, podendo influenciar significativamente em várias funções

fisiológicas, como absorção de água e nutrientes, e transporte para os enxertos (SUCHOFF; GUNTER; LOUWS, 2017; BAYINDIR; KANDEMIR, 2023).

No Brasil, diversas cultivares de porta-enxertos de diferentes empresas vêm sendo comercializadas entre os agricultores. No entanto, pesquisas relacionadas com o uso e seleção desses porta-enxertos em sistema de cultivo orgânico são escassos. A agricultura orgânica tem se estabelecido como um setor em crescimento no Brasil, com um aumento significativo no número de produtores certificados nos últimos anos, de acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022). O Brasil se destaca como o maior mercado de produtores de agricultura orgânica na América Latina e Caribe (VOGT; ALCANTARA ALENCAR; FOCHEZATTO, 2022), evidenciando o potencial e a importância desse setor no país. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar diferentes porta-enxertos comerciais de tomate quanto a características agronômicas, bioquímicas e moleculares. Pois devido a interação da cultivar copa com os diferentes porta-enxertos, que pode alterar a qualidade dos frutos, assim como produtividade em ambiente protegido. Além disso, vislumbrou iniciar um programa de melhoramento de porta-enxertos visando o desenvolvimento de novas cultivares para o sistema de manejo orgânico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO TOMATE

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma importante olerícola da família *Solanaceae*, originária da América do Sul. Essa espécie é cultivada ao redor do mundo, sendo uma das hortaliças mais cultivadas, ficando atrás somente da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.). Na safra 2021/2022, foram produzidas cerca de 186 milhões de toneladas em 5 milhões de ha (FAO, 2024). No Brasil a produção foi de aproximadamente 4 milhões de toneladas numa área de 56 mil hectares em 2023. O valor de produção em 2022, foi superior a 8 bilhões de reais. A produção brasileira está concentrada, principalmente, nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, que foram responsáveis por mais de 61% da produção de tomate do Brasil na safra de 2022 (IBGE, 2024).

No Brasil, o cultivo do tomate realizado por pequenos, médios e grandes agricultores, sendo a maior parte desses agricultores familiares (SOUZA; GIMENES; BINOTTO, 2019). A presença de licopeno, vitamina C e polifenóis, que são compostos bioativos, faz do tomate ser reconhecido por propriedades terapêuticas, além de seu alto valor nutricional e versatilidade culinária (CANENE-ADAMS *et al.*, 2005; ILIĆ; KAPOULAS; ŠUNIĆ, 2014; ILAHY *et al.*, 2019; CERVANTES-JUAN *et al.*, 2023). Tais compostos que estão associados à prevenção de doenças cardiovasculares, degenerativas e câncer (CANENE-ADAMS *et al.*, 2005).

A tomaticultura enfrenta diversos problemas fitossanitários, inviabilizando o seu cultivo em diversas áreas agrícolas. Isso ocorre devido à forte seleção, ocasionou uma baixa diversidade genética, além do processo de domesticação e evolução, que afunilaram essa diversidade (PANNO *et al.*, 2021). Os problemas decorrentes de pragas e doenças são mais acentuados em condições de altas temperaturas e precipitação pluviométrica. Fazendo com que o cultivo protegido seja uma alternativa condições de ambiente desfavorável (JUNIOR *et al.*, 2022).

O cultivo no Brasil é tido como uma atividade de alto risco, com o preço da produção por hectare com valores acima de 100.000 reais. Esse fato faz com que ocorra estímulo no desenvolvimento de novas cultivares, não somente focados em produtividade, mas também em características que diminuam problemas

fitossanitários (GOMES *et al.*, 2023). Parte do cultivo nacional de tomate é realizado em cultivo protegido, assim como outras culturas de alto valor agregado. Com base nesse sistema de cultivo, é possível amenizar perdas provocadas por estresses biótico e abiótico. Através de sistemas de iluminação, resfriamento e aquecimento, é possível realizar a produção em condições climatológicas indicadas para a cultura, além de ser uma proteção contra condições adversas, além de patógenos. Além do Brasil possuir uma das maiores áreas de cultivo protegido do mundo, muitas vezes adotando a técnica de monocultivo. É importante ressaltar que essa prática pode resultar no incremento da incidência de doenças e pragas, devido ao ambiente favorável aos patógenos, com alta umidade, pouca ventilação e grande variação de temperatura diária (PHANI; KHAN; DUTTA, 2021).

## 2.2 PRODUÇÃO DE TOMATE ORGÂNICO EM CULTIVO PROTEGIDO

O cultivo protegido é uma técnica que muitos produtores utilizam. Que permite a modulação do micro e macroambiente, possibilitando produções escalonadas, maiores e com mais qualidade (GRUDA; BISBIS; TANNY, 2019). Onde por meio dessa é possível o cultivo em regiões e épocas inadequadas à produção (QUEIROZ LUZ; VINICIUS SHINZATO; ALVES DINIZ DA SILVA, 2007). Proporcionando condições ambientais para que genótipos melhorados possam expressar seu potencial (SOUZA *et al.*, 2011).

São mais de 200 pragas e doenças que afetam a cultura do tomate (BERGOUIGNOUX, 2014), sendo a cultura com maior propensão à adversidade fitossanitárias (ALVARES SPAGNUOLO *et al.*, 2021). O ambiente protegido é uma forma de contornar os problemas fitossanitários da cultura do tomate. Os quais são ampliados em condições de altas temperatura e precipitação. Além de propiciar maior rentabilidade devido a menor sazonalidade da oferta (ASARE-ADDU *et al.*, 2022; JUNIOR *et al.*, 2022; SOBRINHO *et al.*, 2022).

Algumas práticas que são feitas em cultivo aberto não são compatíveis com o cultivo protegido, tais como rotação de culturas e pousio, pois elevados investimentos da própria estufa. Ainda levando em consideração o incremento de insumos para produção considerando a quantidade maior de plantas por unidade de área em um pequeno período (BERGSTRAND, 2022).

A agricultura orgânica tem se popularizado devido a maior demanda do mercado, por questões ambientais (DE MELO *et al.*, 2009). Mas também ter caráter social, ao possibilitar cadeia de comercialização justa, maior valor agregado, utilizando insumos agrícolas locais (DE MELO *et al.*, 2009; ALVARES SPAGNUOLO *et al.*, 2021; NETO *et al.*, 2018).

Potencial produtivo, características organolépticas superiores, amplitude de adaptação, além de resistência ou tolerância a pragas e doenças são qualidades que definem a viabilidade em escala comercial de cultivares de tomate (DE MELO *et al.*, 2009). A expansão da produção de tomate orgânico tem como principal obstáculo os problemas fitossanitários. A utilização de cultivares resistentes ou tolerantes tem potencial de facilitar o manejo de pragas e doenças (DE MELO *et al.*, 2009; CAMPOS DE MELO *et al.*, 2017; NETO *et al.*, 2018).

Entretanto, o cultivo em ambiente protegido também pode ocasionar um aumento populacional de fitonematoides. Devido a temperaturas mais constantes dentro do ambiente, favorece a reprodução e a sobrevivência de grande parte desses microrganismos. Devido a umidade proveniente de sistema de irrigação, que mantém-se durante o ciclo da cultura, também favorece os fitonematoides (PHANI; KHAN; DUTTA, 2021).

### 2.3 PRINCIPAIS DOENÇAS DE SOLO NA CULTURA DO TOMATEIRO

A produção de tomate enfrenta diversos desafios, que são causados por problemas fitossanitários (pragas e doenças) (PANNO *et al.*, 2021). As perdas na produtividade causadas por pragas e doenças são variáveis dependendo do ambiente e incidência do patógeno, podendo chegar a 100%. Sendo assim, medidas de controle, como o manejo integrado de doenças ou pragas, precisam ser implementados visando reduzir o impacto desses patógenos e pragas. Doenças fúngicas aumentam os custos de produção em aproximadamente 30% (PANDEY *et al.*, 2020). Com base no dano provocado na cultura do tomateiro, segue algumas doenças de elevada importância:

Pinta-preta, é causada pelo fungo *Alternaria linariae* (*A. solani*), essa doença pode causar perdas de até 80% na cultura do tomate. Apenas da existência de produtos químicos para o controle da doença, a exposição a longo prazo, pode levar a resistência do patógeno além de ser potencialmente danoso ao ambiente (PANDEY

*et al.*, 2020). O patógeno ocorre com frequência no mundo (KUMAR *et al.*, 2013). Essa doença é favorecida por alta umidade, chuvas e intenso orvalho (PANNO *et al.*, 2021).

Requeima, é causada por um oomiceto, *Phytophthora infestans* Mont. De Bary, doença em que o custo de controle gira em torno de 15-20% da produção no Brasil. Existem estimativas que relatam perdas de cerca de 5 bilhões de dólares no mundo (ELSAYED *et al.*, 2012). Juntamente com a Pinta-preta é uma das doenças que geram maiores perdas na cultura do tomate (PATHANIA; KUMAR, 2022).

A murcha de *Verticillium* ocorre devido ao agente causal *Verticillium dahliae*, é uma doença destrutiva tanto no tomate para processamento quanto na produção para mesa (CARRER FILHO *et al.*, 2016). Além do tomate, o fungo afeta mais de 150 culturas economicamente relevantes (TUBEILEH; STEPHENSON, 2020). É uma doença disseminada pelo solo, infectando o hospedeiro pelo sistema radicular, seguindo para o vascular (IBIANG; USAMI; SAKAMOTO, 2021).

*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* é o agente causal da Murcha de Fusarium, é um fungo, habitante do solo, o qual infecta a planta através do sistema radicular. Gerando um bloqueio no transporte de água no xilema, por meio de micotoxinas, proteínas que inativam o sistema de defesa do hospedeiro, de forma a causar a murcha vascular (CASTILLO-SANMIGUEL; CORTÉS-SÁNCHEZ; ACERO-GODOY, 2021). As perdas na produção do tomate, causadas pelo fungo são superiores a 50%. Ainda que existam produtos para o controle químico, as questões ambientais também são fatores para o declínio da utilização desses (SATHIYABAMA; CHARLES, 2015). É um fungo que por meio de estruturas de sobrevivência permanece longos períodos no solo, e uma das formas de controle é o genético (GONÇALVES *et al.*, 2021).

A bactéria *Ralstonia solanacearum* causa a murcha-bacteriana, a qual ocorre em diversas culturas economicamente relevantes, como batata, pimentão e tomate. A entrada do hospedeiro no sistema vascular causa a infecção do mesmo (THI; THI; SIM, 2021). Cerca de 250 espécies são afetadas pela doença. E ela apresenta difícil controle, devido a bactéria sobreviver no solo, não necessitando de uma planta hospedeira (GONG *et al.*, 2021).

*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary é um fungo, que causa doenças em centenas de espécies vegetais (XU *et al.*, 2015). *S. sclerotiorum*, ocorre em plântulas ou plantas em outros estádios fenológicos, causando *damping-off* e Podridão de esclerotínia, respectivamente. Seu controle em geral é feito através de fungicidas,

porém devido ao preço, problemas relacionados a eficiência, é um manejo que está sendo revisto por questões da saúde humana e ambientais (KHALED; ALOBAIDI, 2023). O controle da doença é dificultado devido a estruturas de sobrevivência que permanecem no solo (RADWAN *et al.*, 2012), que são os escleródios, podem permanecer por mais de uma década no solo (HAN *et al.*, 2023).

*Rhizoctonia solani* (telemorfo: *Thanatephorus cucumeris*), é um fungo que também causa *damping off*, além de rizoctoniose que causa grandes perdas nas regiões produtoras de tomate (NIKRAFTAR *et al.*, 2013). O tombamento de mudas (*damping off*) ocorre tanto em plântulas, quanto em plantas em outros estádios fenológicos, ocorrendo tanto em condições de campo, quanto em cultivo protegido, levando a perdas superiores a 60%. O controle da *R. solani*, é laborioso devido a diversidade genética do fungo, além da sobrevivência em outras espécies de plantas e pela forma formação de estrutura de resistência (HOSSEINI-ZAHANI; TAHERI, 2023).

Outro causador de prejuízo na cultura do tomate são os fitonematoides. Dentre os fitonematoides, os maiores causadores de perdas na agricultura são gêneros *Meloidogyne*, *Heterodera* e *Globodera* e *Pratylenchus*, que são causadores de galhas, cisto e lesões radiculares, respectivamente (IBRAHIM *et al.*, 2019), e esses estão entre os 10 maiores causadores de danos econômicos (KHAN *et al.*, 2023). As perdas por ano causadas pelos fitonematoides chegam na cifra dos 173 bilhões de dólares e sendo os nematoides das galhas responsáveis por mais da metade dessa cifra (LI *et al.*, 2024). Uma das grandes dificuldades para o controle dos nematoides é devido presença do nematoide demorar a ser identificada, pois os sintomas foliares podem demorar a ocorrer além de ocorrem naturalmente no solo (AHMED *et al.*, 2023).

#### 2.4 BIOLOGIA DO GÊNERO *MELOIDOGYNE*

*Meloidogyne* é um dos gêneros de nematoides que mais ocorrem ao redor do mundo, é conhecido como nematoide das galhas, são parasitas obrigatórios (RAJASEKHARAN *et al.*; 2020, AHMED *et al.*, 2023), portanto, necessitam do hospedeiro para completar seu ciclo de vida. São mais de 100 espécies de *Meloidogyne* spp. identificadas que infectam mais de 3.000 espécies vegetais (KHAN *et al.*, 2023).

As principais espécies que ocorrem na cultura do tomate são *M. hapla*, *M.*

*javanica* e *M. incognita*. E esses causam perdas de produção e econômicas, de até 30%, além de 157 bilhões de dólares no mundo nas culturas da beringela, melão e tomate (IKRAM *et al.*, 2024). Esses nematoides se concentram nas regiões tropicais e subtropicais. Outro nematoide das galhas que ocorre em hortaliças é o *M. arenaria*, de ocorrência nos trópicos em regiões de maior altitude e clima ameno (COLLANGE *et al.*, 2011). Já a espécie *M. enterolobii*, apresenta elevada patogenicidade, provocando danos à diversas culturas no mundo (COLLETT *et al.*, 2023). Por conta da distribuição, da capacidade de reprodução em genótipos de tomate com gene *Mi-1*, *M. enterolobii*, se torna uma grande preocupação (MOENS; PERRY; STARR, 2009). Essa espécie de *Meloidogyne* foi capaz de causar separadamente perda de 65%, sendo o maior valor dentre as demais espécies (PHILBRICK *et al.*, 2020). O gênero *Meloidogyne* é um dos grandes obstáculos da produção em ambiente protegido, devido a proporcionarem condições favoráveis a reprodução e sobrevivência desses nematoides. A reprodução dos nematoides dentro de ambiente protegido pode ser de 10 a 30 vezes maior que em campo (GOWDA *et al.*, 2023).

Os estádios que compõem o ciclo de vida são: ovo, juvenil (J1 a J4) e os adultos (fêmeas e machos). Através de ovos presentes em restos culturais ou no solo depositados por fêmeas é o início do ciclo. Após o contato com as zonas meristemáticas do sistema radicular, os ovos eclodem, saindo desse J2 (IBRAHIM *et al.*, 2019). O juvenil (J2), é o estágio que é móvel, portanto, capaz de infectar os tecidos radiculares, e ele o faz através da força mecânica do estilete, além de nesse processo ser liberado enzimas para destruição das parede celular (VOS *et al.*, 2013). Algumas das enzimas secretadas pelo estilete são endoxilanasas, endoglucanases, enquanto outras proteínas são responsáveis pela degradação da lamela média (GUPTA *et al.*, 2023).

O caminhamento desde a entrada até o local que será utilizado como sítio de alimentação é feito entre as células (IBRAHIM *et al.*, 2019), de forma não destrutiva, levando em torno de 3 a 4 dias de caminhamento. Em que os estágios J3 e J4 que são sedentários irão se alimentar, tal fato ocorrendo cerca de 7 dias após a infecção se iniciar (VERDEJO-LUCAS; TALAVERA, 2019). Os nematoides se nutrem do tecido celular da planta hospedeira, levando a desenvolvimento da doença. Esses efeitos provocam mudanças fisiológicas e morfológicas na planta hospedeira, murcha, nanismo e amarelecimento das folhas (CERVANTES-JUAN *et al.*, 2023, GUPTA *et al.*, 2023). O sítio de alimentação é composto por células multinucleadas, com 5 a 7

células que sofreram hipertrofia, que conferem galhas visíveis nas raízes do hospedeiro (GUPTA *et al.*, 2023).

O gênero *Meloidogyne* completa seu ciclo de vida no interior do tecido infectado, apresenta, portanto, modo de parasitismo do tipo endoparasita obrigatório. As galhas são consequência da alimentação das fêmeas de *Meloidogyne*, as quais são compostas por células gigantes e posteriormente realizam a oviposição, dando início a mais um ciclo (IBRAHIM *et al.*, 2019). Após cerca de 25 dias se inicia a deposição de ovos pela fêmea em uma massa gelatinosa (IBRAHIM *et al.*, 2019). Essa massa é uma forma de proteção e pode conter até 1000 ovos (JONES *et al.*, 2013).

Patogenicidade e sobrevivência são afetados pela temperatura e textura do solo, *M. incognita* causa maiores danos em solos arenosos (YIGEZU WENDIMU, 2021). A temperatura tem um importante papel, afeta desde a embriogênese, produção de ovos, migração no solo, a penetração e o desenvolvimento pós-infecção do nematoide, afetando também a sobrevivência dele no solo. A duração do ciclo de vida de *M. javanica* dura 31 a 28°C e 28 dias para *M. incognita* na cultura da abobrinha (VERDEJO-LUCAS; TALAVERA, 2019).

A utilização de controle biológico, cultural, genético, químico ou físico, são formas de controle de fitonematoides dentro de um manejo ou utilizados sozinhos, cada qual com vantagens e desvantagens (MALANDRAKIS *et al.*, 2018). Algumas das formas de controle do nematoide é a rotação de cultura, mas ela acaba não sendo tão aderida pois áreas no geral são cultivadas em monocultivo. Já o controle químico culmina em ser uma opção que apresenta pontos negativos sobre a questão do meio ambiente por mais que possa ser eficaz, sendo importante pesquisas para encontrar opções (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

## 2.5 MANEJO E CONTROLE DE *MELOIDOGYNE*

Por ter um ciclo de vida curto, juntamente com a polifagia, que implica na facilidade de parasitar e se reproduzir em vários hospedeiros, facilita o aumento populacional (WALUBENGO *et al.*, 2022). De forma que a eliminação de *Meloidogyne* spp. é improvável, sendo o manejo integrado com diversas técnicas o mais adequado para o controle desses fitonematoides (GOUVEIA *et al.*, 2023). O Manejo Integrado de Pragas é um método no qual são empregadas diversas ferramentas, como uso de cultivares resistentes, rotação de culturas, produtos químicos e biológicos (ANTIL *et*

*al.*, 2023). E tem como objetivo diminuir a ocorrência do patógeno, diminuir danos, prioritariamente abaixo do limiar de dano econômico. Ao reunir as mais adequadas estratégias do manejo integrado de doenças, tem como intuito o aumento da produção, através do atraso de epidemias e na intensidade (PHILBRICK *et al.*, 2020).

### 2.5.1 Rotação de cultura

A prática de rotação de cultura engloba a utilização de cultivares resistentes ou não hospedeiras do nematoide. Por meio do cultivo de plantas não hospedeiras, faz com que se reduza a população do nematoide, pois ele não encontra condições favoráveis para seu desenvolvimento. É uma estratégia que idealmente deve durar no mínimo 1 ano. Mas esse prazo é insuficiente para a cultura do tomate, sendo indicado de 3 anos (PHILBRICK *et al.*, 2020).

A rotação de cultura é uma forma de controle, embora não seja a mais interessante para o nematoide das galhas devido a sua distribuição (KUMAR; MANHAS; OHRI, 2023). É uma prática que está menos popular, em parte devido a ampla gama de plantas hospedeiras que o gênero *Meloidogyne* apresenta (ANTIL *et al.*, 2023). Na cultura do tomate, a utilização da rotação ainda possui a desvantagem de as culturas comerciais com melhores preços, também são hospedeiras de *Meloidogyne* spp. (MANDAL *et al.*, 2021),

Uma opção de rotação com culturas armadilhas, não-hospedeiras ou antagônicas é possível em locais em que seja economicamente viável. *Tagetes* spp. é uma alternativa interessante, é uma cultura antagônica a diversos fitonematoides, além de ter um retorno econômico grande. Podendo ser utilizada também em consórcio com outras culturas de curto ciclo, que podem servir de culturas armadilhas em ambientes protegidos (PHANI; KHAN; DUTTA, 2021).

Outras espécies que podem ser utilizadas como controle de *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. incognita* são: *Crotalaria spectabilis*, *Mucuna pruriens*, elas servem como cultura de cobertura. Espécies como aspargo, cebola, alho podem auxiliar na diminuição a população em solos infestados (MANDAL *et al.*, 2021).

### 2.5.2 Controle químico

Os ingredientes ativos permitidos para a cultura do tomate no Brasil são:

abamectina, fluensulfona e metam-sódico; respectivos dos grupos químicos: avermectina, fluoroalkenyle (-thiother) e isotiocianato de metila (precursor de) (AGROFIT, 2024).

Um dos métodos amplamente utilizados, com durabilidade e eficácia é o controle químico (PHANI; GOWDA; DUTTA, 2023), sendo esse comum no controle de *Meloidogyne* (KRIF *et al.*, 2022). Entretanto, a utilização desses produtos tem diminuído (PHANI; GOWDA; DUTTA, 2023). E mais recentemente a utilização de alguns ingredientes ativos foi praticamente abolida, devido a questões ambientais (KRIF *et al.*, 2022, LI *et al.*, 2024).

São dois tipos de nematicidas químicos utilizados no controle de nematoide das galhas, fumigantes e não-fumigantes. O primeiro, são produtos gasosos ou líquidos que vaporizam nos poros do solo. Apresentam a desvantagem de ter uma legislação mais rigorosa, não são capazes de erradicar locais infetados e terem potencialmente maiores preços. Enquanto o segundo tipo, nematicidas não fumigantes, apresenta formulação líquida ou granulada. Que são misturados em água ou depositados diretamente no solo. Podendo ser nematicidas sistêmico ou de contato, em ambos casos o produto deve entrar em contato com o organismo alvo (PHILBRICK *et al.*, 2020).

E mesmo que seja uma estratégia de controle efetiva, adiciona custos a produção de tomate, além dos riscos ambientais (WU; SHEN; YANG, 2009). Além do custo, são pontos desfavoráveis desse controle. A utilização de nematicidas fumigantes causa a supressão tanto de fitonematoides quanto de outros nematoides do solo, além de outros organismos não nocivos (KRIF *et al.*, 2022, AHMED *et al.*, 2023). O monocultivo favorece o surgimento de raças resistentes devido à pressão de seleção nos microrganismos. Assim a utilização de nematicidas químicos deve ser feita de forma mais sustentável, não de forma indiscriminada (PHANI; KHAN; DUTTA, 2021), ou seja, a aplicação somente quando necessário e na quantidade adequada (ABBAS *et al.*, 2022). O uso de nematicida no solo é mais eficiente quando o nematoide ainda não está parasitando a planta hospedeira, pois caso contrário, a eficiência do nematicida é menor (ANTIL *et al.*, 2023).

Evitar a disseminação e os prejuízos causados pelos nematoides ainda não foram alcançadas através do controle químico. Levando produtores a intensificar sua utilização ou até mesmo a troca de culturas, implicando na saúde ambiental e do consumidor, mesmo com a restrição na comercialização da produção (SILVA-

VALENZUELA *et al.*, 2023). Somando a apreensão do aparecimento de cepas resistentes aos produtos químicos (ANTIL *et al.*, 2023). Tais fatos resultam na necessidade de alternativas no controle de fitonematoides (RADWAN *et al.*, 2012; SILVA-VALENZUELA *et al.*, 2023).

### 2.5.3 Controle biológico

O controle biológico é um fenômeno natural que regula a população de plantas e microrganismos por meio de agentes biológicos conhecidos como inimigos naturais. Esses inimigos naturais desempenham um papel crucial no equilíbrio do ambiente, podendo ocorrer naturalmente através do equilíbrio biológico natural ou de forma induzida, envolvendo um ou mais organismos (HELING, 2017).

O controle biológico por meio de agentes biológicos consiste no uso de microrganismos vivos, também chamados de inimigos naturais, ou de moléculas bioativas, como metabólitos, que possuem a capacidade de suprimir e controlar patógenos quando produzidos em larga escala (PHILBRICK *et al.*, 2020). Os microrganismos antagonistas, como fungos, vírus, protozoários e bactérias, são encontrados em diferentes partes do solo e das plantas, sendo classificados como microrganismos endofíticos (MONTEIRO, 2002; LI *et al.*, 2018). Esses organismos endofíticos atuam colonizando as raízes, os vasos condutores, as células da epiderme e os espaços intercelulares, sem entrar em competição com os organismos do solo, pois possuem a capacidade de sobreviver nos tecidos vegetais (MACHADO, 2016).

As rizobactérias, por exemplo, têm sido utilizadas como agentes de controle biológico contra fitopatógenos. Esses organismos interagem com o sistema radicular das plantas e, por meio de compostos voláteis e mecanismos de inibição, podem degradar substâncias químicas e até eliminar patógenos do solo (ALVES *et al.*, 2011).

Dentre os organismos mais utilizados em formulações nematicidas estão as bactérias do gênero *Bacillus* spp., *Pasteuria nishizawae* e os fungos *Trichoderma* spp., *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum* (AGROFIT, 2024). O *Trichoderma* spp., por exemplo, coloniza endofiticamente as raízes das plantas, induzindo alterações no sistema fisiológico da planta e ativando seus mecanismos de defesa. Para evitar a colonização do sistema radicular, a planta reforça suas paredes celulares e acumula compostos antimicrobianos (MACHADO,

2022; PASCHOLATI; SOUZA; CARDOSO FILHO, 2019).

O fungo *Purpureocillium lilacinum*, por sua vez, é um parasita de ovos, juvenis e adultos de nematoides (RAJENDRAN *et al.*, 2024; XU *et al.*, 2021). Ele possui enzimas que degradam a camada externa do ovo e a cutícula dos juvenis e fêmeas (NIE *et al.*, 2023), alimentando-se do conteúdo celular para o seu desenvolvimento. Seu alvo principal são os nematoides do gênero *Meloidogyne*. Além de sua ação como nematicida, esse fungo também induz a resistência nas plantas, ativando rotas metabólicas ligadas a ácidos salicílico ou jasmônico (MACHADO, 2022).

Estudos têm mostrado que nematicidas biológicos à base de *P. lilacinum* e *T. harzianum* já estão sendo comercializados e demonstraram ser eficazes no controle populacional de nematoides em áreas cultivadas. Esses compostos bioativos possuem ação antagonista, micoparásita, colonizam ovos de nematoides e produzem hormônios benéficos que promovem o crescimento das plantas (BAWA; KAUR; DHILLON, 2020; THADEU ROSA, 2018; OLIVEIRA ALMEIDA *et al.*, 2022). A *Pochonia chlamydosporia* possui um modo de ação semelhante ao *P. lilacinum*. Quando não há a presença de plantas e nematoides hospedeiros, essa espécie de fungo age como um organismo saprofítico. No entanto, quando está presente, ela ativa os mecanismos de defesa das plantas contra os patógenos do solo e os nematoides. Para melhorar sua eficácia em ensaios *in vitro*, é necessário associar quitosana como fonte de energia para o fungo (MACHADO, 2022).

Outro organismo bacteriano utilizado como nematicida é o *Pasteuria nishizawae*, que é um parasita obrigatório do nematoide *Heterodera glycines* (AGROFIT, 2024). Os endósporos dessa bactéria são extremamente resistentes e aderem à cutícula do nematoide, colonizando seu interior e degradando seu sistema reprodutivo enquanto o nematoide se move pelo solo (MACHADO, 2022). Além dessa espécie *Pasteuria nishizawae*, parasita o gênero *Globodera*, *P. usage* parasita *Belonolaimus longicaudatus*, *P. thornei* tem como parasita obrigatório *Pratylenchus thornei* (nematoide das lesões radiculares), e *P. penetrans* parasita *Meloidogyne* (JAGADEESWARAN; SINGH; DUBEY, 2024).

As bactérias do gênero *Bacillus*, presentes em mais de 60% dos nematicidas comercializados no Brasil, colonizam a rizosfera e se desenvolvem junto ao sistema radicular das plantas (MACHADO, 2022). Elas produzem exsudatos radiculares, metabólitos e células que criam uma barreira físico-química ao redor das

raízes, impedindo a penetração dos nematoides (DÍAZ-MANZANO *et al.*, 2023; HERNANDES *et al.*, 2020). Além de serem nematicidas, as bactérias do gênero *Bacillus* também promovem o crescimento das plantas, induzindo a produção de fitormônios responsáveis pelo desenvolvimento das plantas e ativando genes que induzem a resistência sistêmica (DÍAZ-MANZANO *et al.*, 2023; MACHADO, 2022).

Embora haja limitações técnicas e comerciais para a utilização de produtos biológicos no manejo integrado do controle de nematoides, o controle biológico tem sido amplamente pesquisado em vários países (GALBIERI; BELOT, 2016). Os estudos envolvem a seleção de organismos antagonistas aos patógenos e o desenvolvimento de formulações mais estáveis para esses produtos (ELNAHAL *et al.*, 2022). Além da aplicação em solos altamente infestados, não resulta num controle eficaz com agentes biológicos (NIE *et al.*, 2023).

#### 2.5.4 Resistência genética

O controle realizado pela utilização da resistência genética é considerado benéfico para o meio ambiente, assim como na questão econômica, pois é um controle eficiente (ELLING, 2013, PADILLA-HURTADO *et al.*, 2022). Os genes que conferem resistência a nematoide das galhas são: *Mi-1*, *Mi-2*, *Mi-3*, *Mi-4*, *Mi-5*, *Mi-6*, *Mi-7*, *Mi-8*, *Mi-9* e *Mi-HT*. Dentre esses genes, cinco foram mapeados (*Mi HT*, *Mi-9*, *Mi-5*, *Mi-3* e *Mi-1*), sendo o último o mais utilizado (PHILBRICK *et al.*, 2020). Alguns genes provenientes de espécies silvestres de tomate conferem resistência à *Meloidogyne* spp., devido a incompatibilidade no cruzamento, eles não foram incorporados às cultivares comerciais (*Mi-2*, *Mi-3*, *Mi-4*, *Mi-5*, *Mi-6* e *Mi-9*) (WU; SHEN; YANG, 2009, EL-SAPPAH *et al.*, 2019).

O gene *Mi-1* proveniente do *Solanum peruvianum* confere ao *Solanum lycopersicum* resistência a *Meloidogyne javanica*, *M. incognita* e *M. arenaria*, sendo uma forma eficaz de frear a reprodução deles. Apesar desse gene ser influenciado por altas temperaturas, em que diminui a efetividade, além populações virulentas (VERDEJO-LUCAS *et al.*, 2013, PHILBRICK *et al.*, 2020). O gene *Mi-1* não é efetivo em condições acima de 28°C. E esse gene não traz a resistência a *M. exigua*, *M. enterolobii*, *M. hapla* e *M. chitwoodi* (DAHLIN *et al.*, 2019). Fora o fato de poucas cultivares resistentes estarem disponíveis (ANTIL *et al.*, 2023).

O processo convencional de desenvolvimento de uma cultivar de tomate leva

em torno de uma década. Podendo ser acelerado com a utilização de marcadores moleculares. Uma solução para a lacuna de variedades resistentes a *M. enterolobii* são a utilização de porta-enxerto (PHILBRICK *et al.*, 2020). O gene *Mi-9*, presente em *Solanum arcanum* LA2157 é um gene de resistência a nematoide e termoestável (YERASU *et al.*, 2023).

Além do gene *Mi-1* ter seu efeito diminuído por altas temperaturas, ao ser exposto a populações altamente virulentas, ocorre também tal redução. Portanto, a enxertia é uma técnica que pode ser uma grande aliada para produção em solos infestados. Tendo aumento de tolerância a baixas temperaturas e aumento de rendimento (VERDEJO-LUCAS *et al.*, 2013).

### 2.5.5 Porta-enxerto na cultura do tomateiro

A enxertia é uma técnica utilizada em Solanáceas e Cucubitáceas (KYRIACOU; COLLA; ROUPHAEL, 2020). A princípio se utilizou enxertia para aumento de produção e vigor (CORTADA *et al.*, 2009). Através da combinação entre pelo menos dois tecidos vegetais, que se unem através de conexões vasculares, dando origem a planta enxertada (MILENKOVIC *et al.*, 2019). No caso da enxertia de tomate, são utilizadas, duas plantas, uma serve como porta-enxerto, que fornece o sistema radicular, enquanto a outra, que é chamada de copa é responsável pela produção (NORDEY *et al.*, 2020). Como o sistema radicular do porta-enxerto é mais efetivo e forte, ajudando no maior aporte de água e nutrientes (MILENKOVIC *et al.*, 2019). Entretanto, a maior captura de água e nutrientes estaria atrelada a modificações na textura, teor de ácido ascórbico, cor e componentes de aroma e sabor (MAURO *et al.*, 2020). Cor e qualidade de frutos podem ser modificados significativamente devido a diferentes porta-enxertos (LIU *et al.*, 2023).

A enxertia ainda serve para diminuir impactos a outros estresses abióticos, como metais pesados e salinidade. E juntamente com o estresse biótico têm sido alcançados através da seleção de melhoramento dos porta-enxertos, mas com foco em maiores produtividades prioritariamente. Entretanto é de suma importância avaliar a qualidade dos frutos que eles produzem, haja visto a importância que o consumidor tem com essa característica (ZHOU *et al.*, 2022). Além da técnica proporcionar estabilidade de produção (EXPÓSITO *et al.*, 2020).

Devido ao aumento da absorção de nutrientes e água, uma maior produção de

frutos é atribuída a utilização de porta-enxerto (MAURO *et al.*, 2020). Existem estudos que demonstram que a qualidade de frutos no pós-colheita é afetada pela enxertia, porém com resultados inconsistentes, se é benéfico ou não. Justificando os resultados a formas de produção, ambientes, época de colheita serem distintos (WALUBENGO *et al.*, 2022).

O uso de porta-enxerto em cultivo protegido já demonstrou ser uma prática eficiente no manejo de nematoides em culturas importantes (PHANI; KHAN; DUTTA, 2021). Tal prática é feita especialmente no cultivo de tomate de mesa, em que permite a proteção contra *Meloidogyne* spp., *Ralstonia solanacearum* e *Athelia rolfsii* (DAFNY YELIN *et al.*, 2024).

Retirando o nematoide das galhas, ainda não foram desenvolvidos porta-enxerto para outras espécies de fitonematodes. Existe uma lacuna sobre a resistência dessas plantas para nematoides, pois o foco são outros patógeno de solo (PHANI; GOWDA; DUTTA, 2023).

## 2.6 REFERÊNCIAS

- ABBAS, M.; SALEEM, M.; HUSSAIN, D.; RAMZAN, M.; JAWAD SALEEM, M.; ABBAS, S.; HUSSAIN, N.; IRSHAD, M.; HUSSAIN, K.; GHOUSE, G.; KHALIQ, M.; PARVEEN, Z. Review on integrated disease and pest management of field crops. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 42, n. 5, p. 3235–3243, 2022.
- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). 2024.**
- AHMED, N.; GHARAMH, H. A.; SHAKEEL, Q.; ASHRAF, W.; ABBAS, H. T.; BINYAMIN, R.; MASROOR, A.; RAHEEL, M.; KHAN, Z. Evaluation of Rhizospheric-Pseudomonas spp. for the management of Meloidogyne incognita in tomato. **Journal of King Saud University - Science**, v. 35, n. 1, p. 102395, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102395>>.
- ALI, Y.; ALI, A.; SINA, I.; KHANDKER, S. S.; NEESA, L.; TANVIR, E. M.; KABIR, A.; KHALIL, I.; GAN, S. H. Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Tomatoes and Their Impact on Human Health and Disease : A Review. **Foods**, v. 10, n. 45, p. <https://dx.doi.org/10.3390/foods10010045> Received, 2021.
- ALVARES SPAGNUOLO, F.; YOSHIO KAGI, F.; BARBOSA MACEDO, R.; FERREIRA CAMARGO, E.; RIBEIRO BARZAN, R.; IZUMI MURAOKA, E.; APARECIDO DE MOURA, L. Análise comparativa entre o custo do manejo fitossanitário e da rentabilidade da produção de tomate orgânico e convencional em ambiente protegido. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 120, n. 1, p. 064, 2021.
- ALVES, F. R.; DOS SANTOS, L. N. S.; MORAES, W. B.; COSMI, F. C.; CABRAL, P. D. S.; FILHO, S. M.; MATTA, F. D. P.; JÚNIOR, W. C. J. Reaction of common bean genotypes to Meloidogyne incognita Race 1. **Idesia (Arica)**, v. 29, n. 2, p. 95–98, 2011.
- ANTIL, S.; KUMAR, R.; PATHAK, D. V.; KUMARI, A. Recent advances in utilizing bacteria as biocontrol agents against plant parasitic nematodes emphasizing Meloidogyne spp. **Biological Control**, v. 183, n. November 2022, p. 105244, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105244>>.
- ASARE-ADDO, D. C.; AMISSAH, J. N.; OFORI, P. A.; OWUSU-NKETIA, S.; OPOKU-AGYEMANG, F.; NKANSAH, G. O. Evaluation of Agronomic Performances and Fruit Quality of Improved Tomato (Solanum lycopersicum L.) lines under greenhouse conditions. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 9, n. August, p. 100360, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100360>>.

- BAWA, N.; KAUR, S.; DHILLON, N. K. Efficacy of *Purpureocillium lilacinum*, *Trichoderma harzianum* and *T. viride* bio-formulations against *Meloidogyne incognita*. **Indian Phytopathology**, v. 73, n. 4, p. 799–804, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s42360-020-00276-1>>.
- BAYINDIR, S.; KANDEMIR, D. Root System Architecture of Interspecific Rootstocks and Its Relationship with Yield Components in Grafted Tomato. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, n. 2, p. 329–341, 2023.
- BERGOUGNOUX, V. The history of tomato: From domestication to biopharming. **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 1, p. 170–189, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003>>.
- BERGSTRAND, K. J. Organic fertilizers in greenhouse production systems – a review. **Scientia Horticulturae**, v. 295, n. December 2021, p. 110855, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110855>>.
- CAMPOS DE MELO, A.; FERNANDES, P. M.; SILVA-NETO, C.; SELEGUINI, A. Solanáceas em sistema orgânico no Brasil: tomate, batata e physalis | Campos de Melo | Scientia Agropecuaria. **Scientia Agropecuaria**, v. 8, n. 3, p. 279–290, 2017. Disponível em: <<http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/1563>>.
- CANENE-ADAMS, K.; CAMPBELL, J. K.; ZARIPHEH, S.; JEFFERY, E. H.; ERDMAN, J. W. The tomato as a functional food. **Journal of Nutrition**, v. 135, n. 5, p. 1226–1230, 2005.
- CARRER FILHO, R.; OLIVEIRA, R. M.; DIAS, V. D.; ROCHA, G. A.; DIANESE, É. de C.; CUNHA, M. G. da. Selection of tomato accessions resistant to *Verticillium wilt*1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 4, p. 429–433, 2016.
- CASTILLO-SANMIGUEL, P. A.; CORTÉS-SÁNCHEZ, L. R.; ACERO-GODOY, J. Molecular aspects of tomato (*Solanum lycopersicum*) vascular wilt by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and antagonism by *Trichoderma* spp. **Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology**, v. 40, n. 1, p. 82–102, 2021.
- CERVANTES-JUAN, M. M.; IBARRA, J. E.; OLALDE-PORTUGAL, V.; MANZO-VALENCIA, M. K.; MERCADO, M. A. M.; VALDÉZ-RODRIGUEZ, S. **Nematicidal effect of an *Amaranthus hypochondriacus* L cystatin AhCPI .pdf**2023.
- CHENG, M.; WANG, H.; FAN, J.; XIANG, Y.; TANG, Z.; PEI, S.; ZENG, H.; ZHANG, C.; DAI, Y.; LI, Z.; ZOU, Y.; ZHANG, F. Effects of nitrogen supply on tomato yield, water use efficiency and fruit quality: A global meta-analysis. **Scientia Horticulturae**,

v. 290, n. August, p. 110553, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110553>>.

COLLANGE, B.; NAVARRETE, M.; PEYRE, G.; MATEILLE, T.; TCHAMITCHIAN, M. Root-knot nematode (*Meloidogyne*) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis. **Crop Protection**, v. 30, n. 10, p. 1251–1262, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2011.04.016>>.

COLLETT, R. L.; RASHIDIFARD, M.; MARAIS, M.; DANEEL, M.; FOURIE, H. Insights into the life-cycle development of *Meloidogyne enterolobii*, *M. incognita* and *M. javanica* on tomato, soybean and maize. **European Journal of Plant Pathology**, p. 137–146, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10658-023-02741-9>>.

CORTADA, L.; SORRIBAS, F. J.; ORNAT, C.; ANDRÉS, M. F.; VERDEJO-LUCAS, S. Response of tomato rootstocks carrying the Mi-resistance gene to populations of *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* and *M. javanica*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 124, n. 2, p. 337–343, 2009.

DAFNY YELIN, M.; GRAPH, S.; RABINOVITZ, O.; SHAKKED, N.; HILL, A.; LIFSHITZ, O. Optimal treatment against *Athelia rolfsii* rot in processing tomatoes using pesticide and rootstock against key stages of the disease. **Crop Protection**, v. 176, n. June 2023, p. 106480, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106480>>.

DAHLIN, P.; EDER, R.; CONSOLI, E.; KRAUSS, J.; KIEWNICK, S. Integrated control of *Meloidogyne incognita* in tomatoes using fluopyram and *Purpureocillium lilacinum* strain 251. **Crop Protection**, v. 124, p. 104874, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104874>>.

DE MELO, P. C. T.; TAMISO, L. G.; AMBROSANO, E. J.; SCHAMMASS, E. A.; INOMOTO, M. M.; SASAKI, M. E. M.; ROSSI, F. Performance of organically grown tomato cultivars under greenhouse conditions. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 4, p. 553–559, 2009.

DÍAZ-MANZANO, F. E.; AMORA, D. X.; MARTÍNEZ-GÓMEZ, Á.; MOELBAK, L.; ESCOBAR, C. Biocontrol of *Meloidogyne* spp. in *Solanum lycopersicum* using a dual combination of *Bacillus* strains. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. January, p. 1–13, 2023.

EL-SAPPAH, A. H.; ISLAM, M. M.; EL-AWADY, H. H.; YAN, S.; QI, S.; LIU, J.; CHENG, G. T.; LIANG, Y. Tomato natural resistance genes in controlling the root-knot nematode. **Genes**, v. 10, n. 11, 2019.

- ELLING, A. A. Major emerging problems with minor Meloidogyne species. **Phytopathology**, v. 103, n. 11, p. 1092–1102, 2013.
- ELNAHAL, A. S. M.; EL-SAADONY, M. T.; SAAD, A. M.; DESOKY, E. S. M.; EL-TAHAN, A. M.; RADY, M. M.; ABUQAMAR, S. F.; EL-TARABILY, K. A. **The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review**. [s.l.] Springer Netherlands, 2022. v. 162759–792 p.
- ELSAYED, A. Y.; SILVA, D. J. H. da; CARNEIRO, P. C. S.; MIZUBUTI, E. S. G. The inheritance of late blight resistance derived from Solanum habrochaites. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, n. 3, p. 199–205, 2012.
- EXPÓSITO, A.; PUJOLÀ, M.; ACHAERANDIO, I.; GINÉ, A.; ESCUDERO, N.; FULLANA, A. M.; CUNQUERO, M.; LOZA-ALVAREZ, P.; SORRIBAS, F. J. Tomato and Melon Meloidogyne Resistant Rootstocks Improve Crop Yield but Melon Fruit Quality Is Influenced by the Cropping Season. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. November, 2020.
- FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>.
- GALBIERI, R.; BELOT, J. L. **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros : Biologia e medidas de controle**. [s.l.: s.n.]344 p.
- GOMES, D. A.; MACIEL, G. M.; NETO, L. B.; DE OLIVEIRA, C. S.; SIQUIEROLI, A. C. S.; FINZI, R. R. Agronomic potential of BC1F2 populations of Santa Cruz dwarf tomato plants. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 45, n. 2020, p. 1–9, 2023.
- GONÇALVES, D. C.; TEBALDI DE QUEIROZ, V.; COSTA, A. V.; LIMA, W. P.; BELAN, L. L.; MORAES, W. B.; PONTES PÓVOA IORIO, N. L.; CORRÊA PÓVOA, H. C. Reduction of Fusarium wilt symptoms in tomato seedlings following seed treatment with Origanum vulgare L. essential oil and carvacrol. **Crop Protection**, v. 141, n. November 2020, 2021.
- GONG, C.; SU, H.; LI, Z.; MAI, P.; SUN, B.; LI, Z.; HENG, Z.; XU, X.; YANG, S.; LI, T. Involvement of histone acetylation in tomato resistance to Ralstonia solanacearum. **Scientia Horticulturae**, v. 285, n. March, p. 110163, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110163>>.
- GOUVEIA, A. de S.; MONTEIRO, T. S. A.; BALBINO, H. M.; MAGALHÃES, F. C. de; RAMOS, M. E. S.; MOURA, V. A. S.; LUIZ, P. H. D.; OLIVEIRA, M. G. de A.; FREITAS, L. G. de; RAMOS, H. J. de O. Inoculation of Pochonia chlamydosporia triggers a

defense response in tomato roots, affecting parasitism by *Meloidogyne javanica*. **Microbiological Research**, v. 266, n. September 2022, p. 0–1, 2023.

GOWDA, M. T.; PRASANNA, R.; RAO, U.; SOMVANSHI, V. S.; SINGH, P. K.; SINGH, A. K.; CHAWLA, G. Microbiome transplant can effectively manage root-knot nematode infectivity in tomato. **Applied Soil Ecology**, v. 190, n. November 2022, p. 105020, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105020>>.

GRUDA, N.; BISBIS, M.; TANNY, J. Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production – A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 225, p. 324–339, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.295>>.

GUPTA, R.; FAWZI BANI MFARREJ, M.; XHEMALI, B.; KHAN, A.; NADEEM, H.; AHMAD, F. Metabolic Responses of Plants to *Meloidogyne* species Parasitism: A Review on Molecular Events and Functions. **Journal of King Saud University - Science**, v. 36, n. 2, p. 103083, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.103083>>.

HAN, V. C.; MICHAEL, P. J.; SWIFT, B.; BENNETT, S. J. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum*: Modes of action of biocontrol agents, soil organic amendments, and soil microbiome manipulation. **Biological Control**, v. 186, n. July, p. 105346, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105346>>.

HERNANDES, I.; BRITO, O. D. C.; LOPES, A. P. M.; SOARES, M. R. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Biological products in association with organic matter to control *Meloidogyne javanica* in tomato. **European Journal of Horticultural Science**, v. 85, n. 1, p. 14–21, 2020.

HOSSEINI-ZAHANI, F.; TAHERI, P. The role of oxidative burst, antioxidant genes and enzymes in association with callose in tomato reaction to various taxonomic groups of *Rhizoctonia* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 128, n. July, p. 102174, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102174>>.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>>.

IBIANG, S. R.; USAMI, T.; SAKAMOTO, K. Rhizosphere Reduction of verticillium wilt in tomato by an arbuscular mycorrhizal fungus - *Rhizophagus intraradices* and an endophytic fungus - *Penicillium pinophilum* is cultivar dependent. **Rhizosphere**, v. 20, n. October, p. 100440, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100440>>.

IBRAHIM, H. M. M.; AHMAD, E. M.; MARTÍNEZ-MEDINA, A.; ALY, M. A. M. Effective approaches to study the plant-root knot nematode interaction. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 141, n. June, p. 332–342, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.06.009>>.

IKRAM, M.; SINGH, S.; BANO, N.; ALAHMADI, T. A.; SHARIQ, M.; SIDDIQUI, M. A.; ISLAM, J. Biochar and oil cakes act as antagonists towards *Meloidogyne incognita* in tomato: A sustainable approach. **Plant Stress**, v. 11, n. December 2023, p. 100320, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100320>>.

ILAHY, R.; TLILI, I.; SIDDIQUI, M. W.; HDIDER, C.; LENUCCI, M. S. Inside and beyond color: Comparative overview of functional quality of tomato and watermelon fruits. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. June, p. 1–26, 2019.

ILIĆ, Z. S.; KAPOULAS, N.; ŠUNIĆ, L. Tomato Fruit Quality from Organic and Conventional Production. **Organic Agriculture Towards Sustainability**, 2014.

JAGADEESWARAN, R.; SINGH, B.; DUBEY, J. Isolation of *Pasteuria penetrans*, an obligate hyper-parasite, infecting root knot nematode, *Meloidogyne* spp. from the rhizosphere of pulses in India. 2024.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. N. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, n. 9, p. 946–961, 2013.

JUNIOR, S. S.; CASAGRANDE, J. G.; TOLEDO, C. A. de L.; PONCE, F. da S.; FERREIRA, F. da S.; ZANUZO, M. R.; DIAMANTE, M. S.; LIMA, G. P. P. Selection of thermotolerant Italian tomato cultivars with high fruit yield and nutritional quality for the consumer taste grown under protected cultivation. **Scientia Horticulturae**, v. 291, n. November 2020, 2022.

KHALED, J. M.; ALOBAIDI, A. S. Priming effect of chitosan on induces protection against tomato root wilt disease mediated through upregulation of defense enzymes. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 127, n. July, p. 102118, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102118>>.

KHAN, A.; AHMAD, G.; HARIS, M.; KHAN, A. A. Bio-organics Management: Novel Strategies to Manage Root-knot Nematode, *Meloidogyne incognita* Pest of Vegetable Crops. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, n. 1, p. 193–209, 2023.

KRIF, G.; LAHLALI, R.; EL AISSAMI, A.; LAASLI, S. E.; MIMOUNI, A.; SERDERIDIS, S.; PICAUD, T.; MOENS, A.; DABABAT, A. A.; FAHAD, K.; MOKRINI, F. Efficacy of

authentic bio-nematicides against the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* infecting tomato under greenhouse conditions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 118, n. January, p. 101803, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2022.101803>>.

KUMAR, D.; MANHAS, R. K.; OHRI, P. Deciphering the growth promoting and stress curtailing role of nitric oxide in *Meloidogyne incognita* infested *Solanum lycopersicum* seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 319, n. August 2022, p. 112147, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112147>>.

KUMAR, S.; SINGH, R.; KASHYAP, P. L.; SRIVASTAVA, A. K. Rapid detection and quantification of *Alternaria solani* in tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 151, p. 184–189, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.026>>.

KYRIACOU, M. C.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Grafting as a sustainable means for securing yield stability and quality in vegetable crops. **Agronomy**, v. 10, n. 12, p. 1–5, 2020.

LI, H.; GUAN, Y.; DONG, Y.; ZHAO, L.; RONG, S.; CHEN, W.; LV, M.; XU, H.; GAO, X.; CHEN, R.; LI, L.; XU, Z. Isolation and evaluation of endophytic *Bacillus tequilensis* GYLH001 with potential application for biological control of *Magnaporthe oryzae*. **PLoS ONE**, v. 13, n. 10, p. 1–18, 2018.

LI, X.; LIANG, L.-M.; HUA, Z.-B.; ZHOU, X.-K.; HUANG, Y.; ZHOU, J.-H.; CAO, Y.; LIU, J.-J.; LIU, T.; MO, M.-H. Eco-friendly management of *Meloidogyne incognita* in cadmium-contaminated soil by using nematophagous fungus *Purpureocillium lavendulum* YMF1.683: Efficacy and mechanism. **Environmental Research**, v. 244, n. December 2023, p. 117930, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117930>>.

LIU, Z.; ZHU, C.; SUN, J.; ZHANG, Z.; ZHAO, S.; SHI, W.; WANG, W.; ZHAO, B. Influence of rootstock on endogenous hormones and color change in Cabernet Sauvignon grapes. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 1–9, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-023-33089-z>>.

LOPES, C. A.; MENDONÇA, J. L. Reação de acessos de jurubeba à murcha bacteriana para uso como porta-enxerto em tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 356–360, 2016.

LOPES, C. A.; REIS, A. Doenças do tomateiro cultivado em ambiente protegido. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Circular Técnica**, 2011.

MACHADO, A. C. Z. **MACHADO, A.C.Z. Controle Químico**. In: **GALBIERI, R.;**

**BELOT, J. L. (Eds.). Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle. Instituto Mato-grossense do Algodão – IMAmt, Cuiabá, p. 313-339, 2016.** [s.l: s.n.]2016 p.

MACHADO, A. C. Z. Bionematicides in Brazil: an emerging and challenging market. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. V, p. 35–49, 2022.

MALANDRAKIS, A.; DASKALAKI, E. R.; SKIADA, V.; PAPADOPOULOU, K. K.; KAVROULAKIS, N. A Fusarium solani endophyte vs fungicides: Compatibility in a Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici – tomato pathosystem. **Fungal Biology**, v. 122, n. 12, p. 1215–1221, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.10.003>>.

MANDAL, H. R.; KATEL, S.; SUBEDI, S.; SHRESTHA, J. Plant Parasitic Nematodes and their management in crop production: a review. **Journal of Agriculture and Natural Resources**, v. 4, n. 2, p. 327–338, 2021.

MAPA. **Relação de Produtores Orgânicos de todo o Brasil**. Disponível em: <<https://dados.gov.br/dataset/cadastro-nacional-de-produtores-organicos>>.

MAURO, R. P.; AGNELLO, M.; ONOFRI, A.; LEONARDI, C.; GIUFFRIDA, F. Scion and rootstock differently influence growth, yield and quality characteristics of cherry tomato. **Plants**, v. 9, n. 12, p. 1–17, 2020.

MILENKOVIC, L.; MASTILOVIC, J.; KEVREŠAN, Ž.; BAJIC, A.; GLEDIC, A.; STANOJEVIC, L.; CVETKOVIC, D.; ŠUNIC, L.; ILIC, Z. S. Effect of shading and grafting on yield and quality of tomato.pdf. **J Sci Food Agric**, 2019.

MOENS, M.; PERRY, R. N.; STARR, J. L. Meloidogyne species - a diverse group of novel and important plant parasites. **Root-knot Nematodes**, n. October 2009, p. 1–17, 2009.

MONTEIRO, L. B. Manejo integrado de pragas em macieira no Rio Grande do Sul II: uso de Neoseiulus californicus para o controle de Panonychus ulmi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 395–405, 2002.

NETO, A. da S. M.; PONCIANO, N. J.; DE SOUZA, P. M.; GRAVINA, G. de A.; DAHER, R. F. Costs, viability and risks of organic tomato production in a protected environment. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 49, n. 4, p. 584–591, 2018.

NIE, H.; LV, B.; SUN, M.; ZHONG, Z.; LI, S. Pre-treatment with Dazomet enhances the biocontrol efficacy of purpureocillium lilacinum to Meloidogyne incognita. **BMC Microbiology**, v. 23, n. 1, p. 1–9, 2023.

NIKRAFTAR, F.; TAHERI, P.; FALAHATI RASTEGAR, M.; TARIGHI, S. Tomato partial

resistance to *Rhizoctonia solani* involves antioxidative defense mechanisms. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 81, p. 74–83, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2012.11.004>>.

NORDEY, T.; SCHWARZ, D.; KENYON, L.; MANICKAM, R.; HUAT, J. Tapping the potential of grafting to improve the performance of vegetable cropping systems in sub-Saharan Africa. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 4, 2020.

OLIVEIRA ALMEIDA, N.; MARTINS DE OLIVEIRA, C.; JOSÉ ULHOA, C.; DE CARVALHO BARROS CÔRTEZ, M. V.; LOBO JÚNIOR, M.; RÚBIA DA ROCHA, M. *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma asperellum* are potential biocontrol agents of *Meloidogyne javanica* in banana cv. Grande Naine. **Biological Control**, v. 175, n. August, 2022.

OLIVEIRA, D. F.; COSTA, V. A.; TERRA, W. C.; CAMPOS, V. P.; PAULA, P. M.; MARTINS, S. J. Impact of phenolic compounds on *Meloidogyne incognita* in vitro and in tomato plants. **Experimental Parasitology**, v. 199, n. June 2018, p. 17–23, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.02.009>>.

PADILLA-HURTADO, B.; MORILLO-CORONADO, Y.; TARAPUES, S.; BURBANO, S.; SOTO-SUÁREZ, M.; URREA, R.; CEBALLOS-AGUIRRE, N. Evaluation of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) population density for disease resistance screening of tomato germplasm carrying the gene Mi-1. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 82, n. 1, p. 157–166, 2022.

PANDEY, S.; GIRI, V. P.; TRIPATHI, A.; KUMARI, M.; NARAYAN, S.; BHATTACHARYA, A.; SRIVASTAVA, S.; MISHRA, A. Early blight disease management by herbal nanoemulsion in *Solanum lycopersicum* with bio-protective manner. **Industrial Crops and Products**, v. 150, n. March, p. 112421, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112421>>.

PANNO, S.; DAVINO, S.; CARUSO, A. G.; BERTACCA, S.; CRNOGORAC, A.; MANDIĆ, A.; NORIS, E.; MATIĆ, S. A review of the most common and economically important diseases that undermine the cultivation of tomato crop in the mediterranean basin. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 1–45, 2021.

PASCHOLATI, S. F. .; SOUZA, V. H. M. .; CARDOSO FILHO, J. A. . Capítulo 7 Indução de resistência por *Trichoderma*. *In: Trichoderma: uso na agricultura*. [s.l: s.n.]

PATHANIA, S.; KUMAR, M. Computational identification of key genes and regulatory miRNAs responsible for differential regulation of host-pathogen response during early and late blight diseases in tomato. **Plant Stress**, v. 5, n. June, p. 100098, 2022.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100098>>.

PHANI, V.; GOWDA, M. T.; DUTTA, T. K. Grafting vegetable crops to manage plant-parasitic nematodes: a review. **Journal of Pest Science**, n. 0123456789, 2023.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10340-023-01658-w>>.

PHANI, V.; KHAN, M. R.; DUTTA, T. K. Plant-parasitic nematodes as a potential threat to protected agriculture: Current status and management options. **Crop Protection**, v. 144, n. February, p. 105573, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105573>>.

PHILBRICK, A. N.; ADHIKARI, T. B.; LOUWS, F. J.; GORNY, A. M. Meloidogyne enterolobii, a Major Threat to Tomato Production: Current Status and Future Prospects for Its Management. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. November, p. 1–13, 2020.

QUEIROZ LUZ, J. M.; VINICIUS SHINZATO, A.; ALVES DINIZ DA SILVA, M. Comparison of Conventional and Organic Tomato Growing Under Protected Cultivation. **Biosci.j.**, v. 27, n. 2, p. 7–15, 2007. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6842/4531>>.

RADWAN, M. A.; FARRAG, S. A. A.; ABU-ELAMAYEM, M. M.; AHMED, N. S. Biological control of the root-knot nematode, Meloidogyne incognita on tomato using bioproducts of microbial origin. **Applied Soil Ecology**, v. 56, p. 58–62, 2012.

RAJASEKHARAN, S. K.; KIM, S.; KIM, J. C.; LEE, J. Nematicidal activity of 5-iodoindole against root-knot nematodes. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 163, n. October 2019, p. 76–83, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.10.012>>.

RAJENDRAN, J.; DUBEY, J.; KUMAR, V.; SUJAYANAND, G. K. Nematode egg parasitic fungus, Purpureocillium lilacinum: efficacy of indigenous strains for the management of Meloidogyne incognita in chickpea. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 34, n. 1, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s41938-024-00769-5>>.

SATHIYABAMA, M.; CHARLES, R. E. Fungal cell wall polymer based nanoparticles in protection of tomato plants from wilt disease caused by Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici. **Carbohydrate Polymers**, v. 133, p. 400–407, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.07.066>>.

SILVA-VALENZUELA, M.; ROJAS-MARTÍNEZ, R. I.; MANZANILLA-LÓPEZ, R. H.; MACÍAS-RUBALCAVA, M. L.; ARANDA-OCAMPO, S.; ZAVALETA-MEJÍA, E. Antagonistic potential of endophytic fungi against Meloidogyne enterolobii, M.

incognita and *Nacobbus aberrans* sensu lato. **Biological Control**, v. 186, n. September, 2023.

SOBRINHO, O. P. L.; DOS SANTOS, L. N. S.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; VIDAL, V. M.; TEIXEIRA, M. B. General aspects of tomato crops and phosphorus fertilizer application: a review. **Comunicata Scientiae**, v. 13, n. January, p. 1–11, 2022. Disponível em: <[https://www.proquest.com/scholarly-journals/general-aspects-tomato-crops-phosphorus/docview/2665173595/se-2%0Ahttps://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/mJuwM?\\_a=ChgyMDIzMDMwMTE0NDI1MTIyNzo1NjIzOTASBTM2Mjk2GgpPTkVfU0VBUkNIlgS4LjI0Mi4xNTIuNSoGMjg2MjA1MgoyN](https://www.proquest.com/scholarly-journals/general-aspects-tomato-crops-phosphorus/docview/2665173595/se-2%0Ahttps://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/mJuwM?_a=ChgyMDIzMDMwMTE0NDI1MTIyNzo1NjIzOTASBTM2Mjk2GgpPTkVfU0VBUkNIlgS4LjI0Mi4xNTIuNSoGMjg2MjA1MgoyN)>.

2%0Ahttps://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/mJuwM?\_a=ChgyMDIzMDMwMTE0NDI1MTIyNzo1NjIzOTASBTM2Mjk2GgpPTkVfU0VBUkNIlgS4LjI0Mi4xNTIuNSoGMjg2MjA1MgoyN>.

SOUZA, A. de A.; GRIGIO, M. L.; NASCIMENTO, C. R. do; SILVA, A. da C. D. da; REGO, E. R. do; REGO, M. M. do. Caracterização química e física de frutos de diferentes acessos de tomateiro em casa de vegetação. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 5, n. 2, p. 113, 2011.

SOUZA, S. V.; GIMENES, R. M. T.; BINOTTO, E. Economic viability for deploying hydroponic system in emerging countries: A differentiated risk adjustment proposal. **Land Use Policy**, v. 83, n. December 2018, p. 357–369, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.020>>.

SUCHOFF, D. H.; GUNTER, C. C.; LOUWS, F. J. Comparative analysis of root system morphology in tomato rootstocks. **HortTechnology**, v. 27, n. 3, p. 319–324, 2017.

THADEU ROSA, L. C. **INTERAÇÃO E EFICÁCIA DE PRODUTOS BIOLÓGICOS E QUÍMICO NO MANEJO DE *Meloidogyne javanica* EM**. 2018. 2018.

THI, T.; THI, N.; SIM, S. Scientia Horticulturae Genome-wide association study and marker development for bacterial wilt resistance in tomato ( *Solanum lycopersicum* L .). **Scientia Horticulturae**, v. 289, n. April, p. 110418, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110418>>.

TUBEILEH, A. M.; STEPHENSON, G. T. Soil amendment by composted plant wastes reduces the *Verticillium dahliae* abundance and changes soil chemical properties in a bell pepper cropping system. **Current Plant Biology**, v. 22, p. 100148, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100148>>.

VATS, S.; BANSAL, R.; RANA, N.; KUMAWAT, S.; BHATT, V.; JADHAV, P.; KALE, V.; SATHE, A.; SONAH, H.; JUGDAOHSINGH, R.; SHARMA, T. R.; DESHMUKH, R. Unexplored nutritive potential of tomato to combat global malnutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 4, p. 1003–1034, 2022. Disponível

em: <<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1832954>>.

VERDEJO-LUCAS, S.; BLANCO, M.; CORTADA, L.; SORRIBAS, F. J. Resistance of tomato rootstocks to *Meloidogyne arenaria* and *Meloidogyne javanica* under intermittent elevated soil temperatures above 28 °C. **Crop Protection**, v. 46, p. 57–62, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2012.12.013>>.

VERDEJO-LUCAS, S.; TALAVERA, M. Root-knot nematodes on zucchini (*Cucurbita pepo* subsp. *pepo*): Pathogenicity and management. **Crop Protection**, v. 126, n. May, p. 104943, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104943>>.

VOGT, C. de M.; ALCANTARA ALENCAR, D.; FOCHEZATTO, A. The economic impact of organic production in Brazil: A study based on municipal production hotspots. **PloS one**, v. 17, n. 3, p. e0264095, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0264095>>.

VOS, C.; SCHOUTEDEN, N.; VAN TUINEN, D.; CHATAGNIER, O.; ELSEN, A.; DE WAELE, D.; PANIS, B.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Mycorrhiza-induced resistance against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* involves priming of defense gene responses in tomato. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 60, p. 45–54, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.013>>.

WALUBENGO, D.; ORINA, I.; KUBO, Y.; OWINO, W. Physico-chemical and postharvest quality characteristics of intra and interspecific grafted tomato fruits. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 7, p. 100261, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100261>>.

WU, W. wen; SHEN, H. lin; YANG, W. cai. Sources for Heat-Stable Resistance to Southern Root-Knot Nematode (*Meloidogyne incognita*) in *Solanum lycopersicum*. **Agricultural Sciences in China**, v. 8, n. 6, p. 697–702, 2009. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60267-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60267-9)>.

XU, W. F.; YANG, J. L.; MENG, X. K.; GU, Z. G.; ZHANG, Q. L.; LIN, L. B. Understanding the Transcriptional Changes During Infection of *Meloidogyne incognita* Eggs by the Egg-Parasitic Fungus *Purpureocillium lilacinum*. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, n. April, p. 1–13, 2021.

XU, Z.; WU, S.; LIU, L.; CHENG, J.; FU, Y.; JIANG, D.; XIE, J. A mitovirus related to plant mitochondrial gene confers hypovirulence on the phytopathogenic fungus *Sclerotinia sclerotiorum*. **Virus Research**, v. 197, p. 127–136, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.virusres.2014.12.023>>.

YERASU, S. R.; GOWDA, M. T.; KRISHNA, R.; PRASANNA, H. C.; TIWARI, J. K.;

RAI, N.; BEHERA, T. K. Development of interspecific hybrids through embryo rescue for heat-stable nematode resistance (Mi-9 gene) from *Solanum arcanum* in tomato.

**Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 154, n. 3, p. 703–711, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11240-023-02544-0>>.

YIGEZU WENDIMU, G. Biology, Taxonomy, and Management of the Root-Knot Nematode (*Meloidogyne incognita*) in Sweet Potato. **Advances in Agriculture**, v. 2021, 2021.

ZHOU, Z.; YUAN, Y.; WANG, K.; WANG, H.; HUANG, J.; YU, H.; CUI, X. Rootstock-scion interactions affect fruit flavor in grafted tomato. **Horticultural Plant Journal**, v. 8, n. 4, p. 499–510, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.hpj.2022.01.001>>.

### 3 ARTIGO 1 – ADVANCES IN TOMATO BREEDING FOR RESISTANCE TO *MELOIDOGYNE ENTEROLOBII*: AN ANALYSIS OF WILD ACCESSIONS AND COMMERCIAL ROOTSTOCKS

**Abstract.** Root-knot nematodes (RKNs, *Meloidogyne* spp.) represent the phytonematodes with the highest global economic impact. In tomato, various *Meloidogyne* species infect the crop, and the use of resistant cultivars is considered an important control strategy. However, *M. enterolobii* has recently been causing significant concern due to its aggressiveness, and resistance genes are ineffective in controlling this species. Therefore, the present study aimed to evaluate the resistance of various wild tomato accessions to *M. javanica*, *M. enterolobii*, *M. incognita*, and *M. paranaensis* nematode species, and tomato rootstocks and their combinations exclusively to *M. enterolobii*, seeking to elucidate the genetic basis of resistance to this pathogen. For this purpose, eight wild tomato species (*S. galapagense*, *S. pimpinellifolium*, *S. chmielewskii*, *S. chilense*, *S. peruvianum*, *S. habrochaites*, *S. neoricki*, and *S. pennellii*) and 15 commercial rootstocks were evaluated. The *S. peruvianum* accession showed the lowest reproduction factor (RF) and nematodes per gram of root (NGR) values, indicating an important source of resistance, especially against *M. enterolobii*. The evaluated tomato rootstocks were susceptible to *M. enterolobii*, although some exhibited relatively low RF and NGR values, indicating a degree of tolerance. The diallel analysis revealed significant effects for general and specific combining abilities, indicating the importance of additive and non-additive effects in the inheritance of resistance. The rootstocks TD1, Embajador, and Shield stood out, being recommended for use in breeding programs aimed at developing rootstocks tolerant to *M. enterolobii*.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L., Root-knot nematodes, genetic resistance

**Resumo.** Os nematoides das galhas (RKNs, *Meloidogyne* spp.) constituem o grupo de fitonematoides com maior impacto econômico global. No tomate, diversas espécies de *Meloidogyne* infectam a cultura e o uso de cultivares resistentes é considerado uma importante estratégia de controle. No entanto, recentemente a espécie *M. enterolobii* vem causando grandes preocupações devido a sua agressividade e os genes de

resistência não são efetivos para controle desta espécie. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a resistência de diversos acessos de tomates silvestres às espécies de nematoides *Meloidogyne javanica*, *M. enterolobii*, *M. incognita* e *M. paranaensis*, e de porta-enxertos de tomate e suas combinações exclusivamente ao *M. enterolobii*, buscando elucidar a base genética da resistência a esse patógeno. Para tanto, foram avaliadas oito espécies silvestres de tomate (*S. galapagense*, *S. pimpinellifolium*, *S. chmielewskii*, *S. chilense*, *S. peruvianum*, *S. habrochaites*, *S. neoricki* e *S. pennellii*) e 15 porta-enxertos comerciais. O acesso de *S. peruvianum* apresentou os menores valores de fator de reprodução (RF) e nematoides por grama de raiz (NGR), indicando uma importante fonte de resistência, especialmente contra *M. enterolobii*. Os porta-enxertos de tomate avaliados foram suscetíveis a *M. enterolobii*, embora alguns apresentassem valores relativamente baixos de RF e NGR, indicando um grau de tolerância. A análise dialélica revelou efeitos significativos para as capacidades gerais e específicas de combinação, indicando a importância de efeitos aditivos e não aditivos na herança da resistência. Os porta-enxertos TD1, Embajador e Shield se destacaram, sendo indicado para uso em programas de melhoramento visando o desenvolvimento de porta-enxertos tolerantes ao *M. enterolobii*.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum* L., nematoide de galhas, resistência genética

### 3.1 INTRODUCTION

Root-knot nematodes (RKNs, *Meloidogyne* spp.) constitute the group of phytonematodes with the highest global economic impact, characterized by their wide host range and causing significant productivity losses in various agriculturally important crops (Rutter et al., 2022). RKNs are obligatory sedentary endoparasites that, upon penetrating the roots of their host, migrate to the vascular cylinder, where they initiate a series of changes in the root, resulting in gall formation and the establishment of specialized nutrition cells, known as "giant cells" (Przybylska and Obrępańska-Stęplowska, 2020). Such modifications in the root structure significantly compromise the plant's ability to absorb water and nutrients, decreasing crop growth and productivity. Moreover, the presence of these infections increases the plant's vulnerability to secondary pathogenic agents, resulting in a synergistic disease complex with other pathogenic microorganisms, including *Fusarium oxysporum* and *Verticillium dahliae* (Back et al., 2002; Karssen et al., 2013).

In tomato (*Solanum lycopersicum* L.), roots are commonly infected by different species of RKNs, among which *M. javanica*, *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla*, and the recently identified *M. enterolobii* stand out due to their significant impact on agricultural productivity (El-Sappah et al., 2019; Philbrick et al., 2020; Sikandar et al., 2023). In response to this challenge, adopting integrated management strategies, particularly genetic resistance, has proven to be essential to mitigate losses caused by RKNs in endemic areas (El-Sappah et al., 2019; Silva et al., 2019). The initial discovery of resistance in tomatoes to RKNs was documented by Bailey (1941) in the wild species *Lycopersicon peruvianum* L. PI 128657, where a singular dominant gene, *Meloidogyne incognita-1* (*Mi-1*), located on chromosome 6, was identified. This gene exhibits protective activity against *M. incognita*, *M. arenaria*, and *M. javanica*, but does not offer resistance against *M. hapla* and *M. enterolobii* (Williamson and Kumar, 2006; Philbrick et al., 2020). Beyond *Mi-1*, new resistance genes/alleles to *Meloidogyne* species (*Mi-2* to *Mi-9*, including *Mi-HT*) have been reported in accessions of *S. peruvianum*, which may confer resistance to *M. hapla* and be effective under high temperatures (El-Sappah et al., 2019). Despite this genetic diversity, *Mi-1* remains the only resistance option available in the market, underlining the urgent need for research and development to expand resistance options (Pradhan et al., 2023).

For *M. enterolobii*, the *Mi-1* gene is not effective in controlling this species, necessitating the search for new sources of resistance (El-Sappah et al., 2019; Philbrick et al., 2020). Germplasm banks contain vast untapped resources that may have applications in breeding programs. Thus, evaluating the genetic potential of *Solanum* germplasm (section *Lycopersicon*) for economically significant pathogens like *Meloidogyne* spp. can be considered an important strategy. Silva et al. (2019), assessing wild and commercial tomatoes, found three genotypes (*S. lycopersicum* ‘Yoshimatsu’ and ‘CNPH 1246’ and *S. pimpinellifolium* ‘CNPH 1195’) with tolerance to *M. enterolobii*.

This study aims to evaluate the resistance of various wild tomato accessions to *Meloidogyne javanica*, *M. enterolobii*, *M. incognita*, and *M. paranaenses* nematode species and tomato rootstocks and their combinations exclusively to *M. enterolobii*, seeking to elucidate the genetic basis of resistance to this pathogen. From these findings, the study aims to establish the groundwork for developing a targeted breeding program that promotes the development of tomato cultivars with tolerance to *M. enterolobii*.

## 3.2 MATERIAL AND METHODS

### 3.2.1 Plant material

For this study, different accessions of wild tomato species (*Solanum galapogense*, *S. pimpinellifolium*, *S. chmielewskii*, *S. chilense*, *S. peruvianum*, *S. habrochaites*, *S. neorickii*, and *S. pennellii*), cultivars and accessions of *S. lycopersicum* L. (Microton, Trinitade, Sweet Heaven, and Santa Clara) and tomato rootstocks from various commercial companies were evaluated (Table 1).

**Table 1.** Resistance characteristics to different soil pathogens of the 15 rootstock cultivars and their respective companies.

Treatments	Company	Resistance <sup>1,2/</sup>						
		Rs	PI	Fol 1 e 2	Fol 3	For	Vd	Ma,Mi,Mj
Basf-01	Basf	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Basf-02	Basf	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
BS PE 0041	Bluseeds	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Woodstock	Sakata	HR	IR	HR	HR	HR	HR	HR
Volt	Sakata	IR	IR	HR	HR	HR	IR	HR
Shield	Rijk Zwaan	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
Embajador	Rijk Zwaan	HR	HR	HR	HR	HR	HR	IR
Rampart	Rijk Zwaan	HR	IR	HR	HR	HR	HR	IR
Emperador	Rijk Zwaan	HR	HR	HR	HR	HR	HR	IR
Guardião	Takii	HR	ni	HR	ni	HR	HR	HR
Green Power	Takii	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR
TD1	Takii	IR	HR	HR	HR	HR	HR	HR
Green Barrier	Takii	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR
Green Rise	Takii	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR
Muralha	Takii	HR	ni	HR	ni	HR	HR	HR

<sup>1/</sup>Rs: *Ralstonia solanacearum*, PI: *Pyrenochaeta lycopersici*, Fol 1 e 2: *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* race 1 and 2, Fol 3: *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* race 3, For: *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopercisi*, Vd: *Verticillium dahliae*, and Ma, Mi, Mj: *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica*.

<sup>2/</sup>HR = High Resistance, IR = Intermediate Resistance, ni = no information.

**Fonte:** o próprio autor

### 3.2.2 Evaluation for resistance to *Meloidogyne* spp.

For the evaluation of wild species and tomato rootstocks, two trials were conducted in a greenhouse, one at the Rural Development Institute of Paraná (IDR-Paraná) and the other at the Universidade Estadual de Londrina (UEL). Both sites are

located in the municipality of Londrina, Paraná, Brazil. The experimental design adopted was completely randomized, with 12 replications. For the experiment with wild tomato species, four nematode species (*M. javanica*, *M. incognita*, *M. enterolobii*, and *M. paranaensis*) were evaluated for resistance, while for the rootstocks, evaluation was for *M. enterolobii*. The *M. javanica* inoculum used in the experiments comes from soybean plants in Londrina – Paraná, while *M. incognita* and *M. paranaensis* from coffee plants in Altônia – Paraná, and *M. enterolobii* from guava plants in Carlópolis – Paraná. After purification from a single egg mass, all inoculums were multiplied in tomato plants cultivar Santa Clara in a greenhouse at the IDR – Paraná.

For these experiments, the seeds of the tomato accessions were sown in polystyrene trays containing Carolina Soil® substrate. Thirty days after sowing, the seedlings were transplanted into 946 mL styrofoam cups containing sand and soil (7:1) previously sterilized, and three grams of Osmocote® (15% N, 9% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 12% K<sub>2</sub>O, 1% Mg, 2.3% S, 0.05% Cu, 0.45% Fe, 0.06% Mn, 0.02% Mo).

Forty-five days after transplanting, the roots of the plants were washed in running water, dried with paper towels, and weighed on a semi-analytical balance. Subsequently, they were processed according to the methodology proposed by Boneti & Ferraz (1981) for nematode extraction. Finally, these samples were quantified in a Peters chamber under an optical microscope. For this experiment, the number of nematodes per gram of root (NGR) and the nematode reproduction factor (RF = final population of nematodes/initial population of inoculated nematodes) were determined.

### 3.2.3 Diallel crosses

Based on evaluating rootstocks for resistance to *M. enterolobii*, seven rootstocks were selected for crosses in a complete 7 x 7 diallel, without reciprocals. The seven rootstocks used were: Shield, BS PE 0041, TD1, Embajador, BASF-01, Woodstock, and Muralha. The crosses were carried out in a greenhouse at the UEL, in a diallel scheme with only the F<sub>1</sub>s, yielding 21 double hybrids. These hybrids were evaluated for resistance to *M. enterolobii*, as described above.

### 3.2.4 Data analysis

The data from wild tomatoes and rootstocks were subjected to the assumptions

of variance analysis (normality of data, homogeneity of variances, and independence of errors). However, these assumptions were unmet and analyzed using non-parametric statistics. ANOVA-type statistics (ATS), which have an approximate F distribution under the null hypothesis based on asymptotic theory, were applied to the data. To discern differences across treatments, the Bonferroni correction was applied with a significance threshold set at  $p < 0.05$ . Spearman correlation analysis and multivariate analysis (principal components and UPGMA hierarchical clustering analysis based on standardized Euclidean distance) were also performed to evaluate wild tomatoes. For the rootstock crosses, the data met the assumptions. They were analyzed based on variance analysis and Griffing's diallel analysis method to determine the general and specific combining ability (GCA and SCA, respectively) and their quadratic components. Griffing's analysis (1956) adopted a fixed effects model. All analyses were performed with the help of the R program (<https://www.r-project.org>) using the nparLD (Noguchi et al., 2022), agroR (Shimizu et al., 2023), pheatmap (Kolde, 2019), corrplot (Wei et al., 2021), and DiallelAnalysisR (Yassen et al., 2023) packages.

### 3.3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.3.1 Evaluation of wild tomatoes for resistance to *Meloidogyne* spp.

Through non-parametric ANOVA-type statistic, a significant effect ( $p < 0.01$ ) of the variation sources treatments (T) and experiments x treatments (E x T) was observed for reproduction factor (RF) and nematodes per gram of root (NGR) in the four trials (*M. paranaensis*, *M. incognita*, *M. javanica*, and *M. enterolobii*) (Table 2). For experiments (E), a significant effect was observed for RF and NGR in the *M. paranaensis* and *M. javanica* trials. The highest mean RF was observed for *M. enterolobii* (70.4 and 66.6% in experiments 1 and 2, respectively). In contrast, the NGR values (2357.3 and 2124.9 experiments 1 and 2, respectively) were similar to the values observed for the other nematode species, justified by the smaller inoculated population, 50% less than for the others, due to its aggressiveness in tomato crop. This species is an emerging threat due to its global distribution, broad host range, and ability to reproduce on tomato genotypes carrying *Mi* resistance genes (Philbrick et al., 2020).

For *M. paranaensis*, the average RF were 21.8 and 27.4 in experiments 1 and

2, respectively, while the NGR were 20,390 and 2,610.9 for the same experiments. These values align closely with those recorded for *M. incognita* and *M. javanica*. *M. paranaensis* is notably significant as a phytoparasite impacting coffee cultivation in southern Brazil, where it induces necrotic lesions and fissures on the roots, yet notably lacks the typical gall formations associated with other species (Tomaz et al., 2021). Research on this nematode's effects on tomato plants remains limited. However, a study by Gabriel et al., (2020) highlighted that tomato genotypes possessing the *Mi-1.2* gene exhibit resistance to *M. paranaensis*, marking a notable finding in the battle against this pest.

**Table 2.** ANOVA-type statistic and means for evaluating different tomato genotypes (commercial and wild) for control of *Meloidogyne paranaensis*, *M. incognita*, *M. javanica*, and *M. enterolobii* in a greenhouse.

Source of variation	DF	RF <sup>1/</sup>		NGR	
		Statistic	P value	Statistic	P value
<i>M. paranaensis</i>					
Experiments (E)	1	20.3	<0.001	11,59	<0.001
Genotypes (G)	10	1108.7	<0.001	1854.3	<0.001
E x G	10	157.7	<0.001	84.07	<0.001
<i>M. incognita</i>					
Experiments (E)	1	0.05	0.81	1,96	0.16
Genotypes (G)	10	12947.4	<0.001	6121.0	<0.001
E x G	10	29.44	0.001	70.46	<0.001
<i>M. javanica</i>					
Experiments (E)	1	32.52	<0.001	53.8	<0.001
Genotypes (G)	10	3337.5	<0.001	1337.0	<0.001
E x G	10	66.3	<0.001	115.7	<0.001
<i>M. enterolobii</i>					
Experiments (E)	1	0.84	0.35	8.23	0.004
Genotypes (G)	10	525.6	<0.001	1638.6	<0.001
E x G	10	55.3	<0.001	106.1	<0.001
Mean	Experiment 01			Experiment 02	
	RF	NGR	RF	NGR	
<i>M. paranaensis</i>	21.8	2039.0	27.4	2610.9	
<i>M. incognita</i>	21.0	2011.9	22.1	2977.2	
<i>M. javanica</i>	58.5	4751.9	36.5	2138.1	
<i>M. enterolobii</i>	70.4	2357.3	66.6	2124.9	

Fonte: o próprio autor

Among the accessions of wild tomato species evaluated, the *S. peruvianum* accession obtained the lowest values for NGR and RF (Table 3). For the assays of *M.*

*paranaensis*, *M. incognita*, *M. javanica*, and *M. enterolobii*, this accession showed average values of 235.2, 77.65, 396.9, and 295.9 for NGR, respectively, and 2.8, 1.85, 6.25, and 16.5 for RF, respectively. *S. peruvianum* is a species native to Peru and parts of Ecuador, known for its genetic diversity and potential as a source of resistance traits against various pests and diseases that affect tomato cultivation. For RKNs, genes *Mi-1*, *Mi-2*, *Mi-3*, *Mi-4*, *Mi-5*, *Mi-6*, *Mi-7*, and *Mi-8* were identified in accessions of this species (Pradhan et al., 2023; Shilpa et al., 2022). The RF values above 1 for *M. javanica* and *M. incognita* can be attributed to various factors influencing resistance efficiency. The pathogen population density and soil temperature conditions stand out among these factors. Soil temperatures above 28 °C have been associated with a reduction in the efficiency of the *Mi* gene (Williamson, 1998).

For *M. enterolobii*, the *S. chilense* accession also stood out, not differing statistically from *S. peruvianum* for NGR, indicating it is a source of resistance for this nematode species. Silva et al. (2019), evaluating different genetic materials of tomato for resistance to *M. enterolobii*, found that the *S. chilense* 'LA 1963' accession showed lower values for indices and a number of galls compared to the susceptible control. The other wild tomato accessions (*S. galapagense*, *S. pimpinellifolium*, *S. chmielewskii*, *S. habrochaites*, *S. neorickii*, and *S. pennellii*) were susceptible to the four nematode species evaluated.

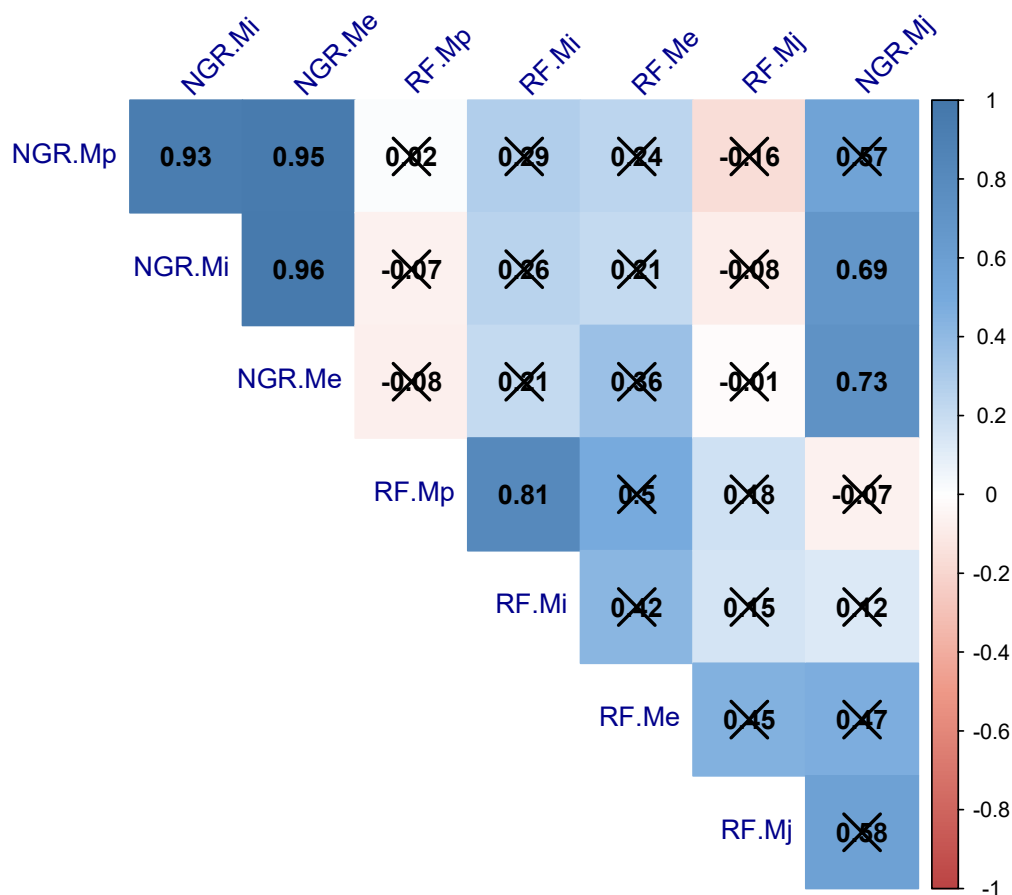
**Table 3.** Nematode assessment per gram of root of different tomato genotypes (commercial and wild) for the control of *Meloidogyne paranaensis*, *M. incognita*, *M. javanica*, and *M. enterolobii* in a greenhouse.

Genotypes	<i>M. paranaensis</i>		<i>M. incognita</i>		<i>M. javanica</i>		<i>M. enterolobii</i>	
	Exp1 <sup>1/</sup>	Exp2	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2
Microton			12693.2					
Trinidade	7744.8 <b>a</b>	9516.1 <b>a</b>	<b>a</b>	18787.8 <b>a</b>	10703.2 <b>a</b>	7944.1 <b>a</b>	13251.0 <b>a</b>	6386.7 <b>a</b>
Sweet Heaven	1196.8 <b>cd</b>	2660.9 <b>c</b>	495.0 <b>fg</b>	578.1 <b>d</b>	2480.1 <b>b-d</b>	671.3 <b>f</b>	597.2 <b>e</b>	1414.8 <b>c</b>
<i>S. galapagense</i>			1145.2					
	1337.3 <b>c</b>	2766.0 <b>bc</b>	<b>cd</b>	2549.7 <b>b</b>	1780.4 <b>d</b>	1629.9 <b>de</b>	1245.7 <b>cd</b>	1012.8 <b>c</b>
			1509.4					
	2064.5 <b>ab</b>	1196.7 <b>d</b>	<b>bc</b>	1784.3 <b>b</b>	2405.8 <b>b-d</b>	1396.0 <b>e</b>	923.4 <b>d</b>	2167.4 <b>b</b>
<i>S. pimpinellifolium</i>	508.0 <b>ef</b>	758.5 <b>de</b>	628.6 <b>ef</b>	707.6 <b>cd</b>	4591.2 <b>b</b>	1985.1 <b>cd</b>	468.7 <b>e</b>	1681.6 <b>b</b>
<i>S. chmielewskii</i>			1096.7					
	1318.9 <b>cd</b>	987.0 <b>d</b>	<b>de</b>	1077.5 <b>c</b>	11179.4 <b>a</b>	2242.0 <b>bc</b>	1061.3 <b>cd</b>	967.7 <b>c</b>
<i>S. chilense</i>	453.3 <b>ef</b>	987.0 <b>d</b>	498.0 <b>fg</b>	467.5 <b>d</b>	2005.8 <b>d</b>	2242.0 <b>bc</b>	273.1 <b>e</b>	432.6 <b>d</b>
<i>S. peruvianum</i>	339.6 <b>f</b>	130.8 <b>f</b>	128.0 <b>h</b>	27.3 <b>e</b>	723.0 <b>e</b>	70.8 <b>f</b>	344.1 <b>e</b>	247.7 <b>d</b>
<i>S. habrochaites</i>	736.2 <b>de</b>	3214.7 <b>a-c</b>	386.8 <b>g</b>	631.0 <b>d</b>	2018.7 <b>cd</b>	1543.4 <b>de</b>	1268.5 <b>cd</b>	902.0 <b>c</b>
<i>S. neoricki</i>			2350.9					
	2148.0 <b>ab</b>	1396.2 <b>d</b>	<b>ab</b>	919.6 <b>c</b>	11461.4 <b>a</b>	2598.3 <b>ab</b>	4750.6 <b>ab</b>	1897.4 <b>b</b>
<i>S. pennellii</i>			1198.8					
	4581.6 <b>bc</b>	5105.9 <b>ab</b>	<b>cd</b>	5218.5 <b>b</b>	2921.7 <b>bc</b>	1195.9 <b>e</b>	1747.2 <b>bc</b>	6263.3 <b>a</b>

<sup>1/</sup>Identical letters in the same column do not differ statistically by the Bonferroni test ( $p < 0.05$ ).

Fonte: o próprio autor

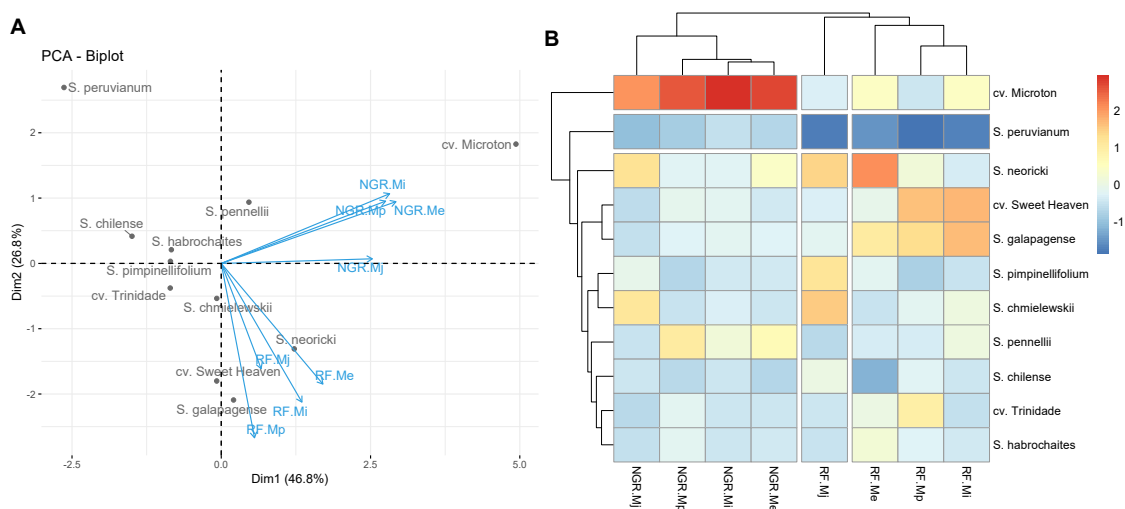
Through the Spearman correlation analysis (Figure 1), a high positive correlation was observed among *Meloidogyne* sp. species for NGR, except between the *M. javanica* x *M. paranaensis* assay, indicating a similarity in the response of wild accessions towards resistance to different *Meloidogyne* species. A positive correlation was observed only between *M. paranaensis* x *M. incognita* for FR. There was no correlation between the overall averages of FR and NGR in the evaluated assays.



**Figure 1.** Spearman correlation analysis of the reproduction factor (RF) and nematodes per gram of root (NGR) evaluated in different tomato genotypes (commercial and wild) for the control of *Meloidogyne paranaensis*, *M. incognita*, *M. javanica*, and *M. enterolobii* in greenhouse.

Through the analysis of principal components (PCA), the first two components explained 73.6% (PCA1 and PCA2 with 46.8% and 26.8%, respectively), with the formation of three groups being observed (Figure 1A). Groups I and II were constituted by the Microton accessions (higher NGR values) and *S. peruvianum* (lower NGR and

FR values), respectively. Group III comprised the remaining accessions, with intermediate and high values for NGR and FR. The hierarchical clustering analysis UPGMA also identified the formation of three groups, corroborating the results obtained through PCA (Figure 2B).



**Figure 2.** Principal component analysis (A) and hierarchical clustering UPGMA based on Euclidean distance (B) of the reproduction factor and nematodes per gram of root evaluated in different tomato genotypes (commercial and wild) for the control of *Meloidogyne paranaensis*, *M. incognita*, *M. javanica*, and *M. enterolobii* in greenhouse.

### 3.3.2 Evaluation of tomatoes for resistance to *Meloidogyne enterolobii*

Using the non-parametric Anova-type statistic, a significant effect ( $p < 0.01$ ) was observed for all sources of variation in both experiments (Table 4). For experiment 1, the average values of FR and NGR were 27.81 and 802.84, respectively, while for experiment 2, they were 50.10 and 1525.53, respectively. All evaluated rootstocks were susceptible to *M. enterolobii*. In experiment 01, the lowest NGR values were found for the cultivars Embajador, TD1, BASF-02, Volt, and Muralha, with average FR values of 6.44, 7.83, 11.41, 20.67, and 12.77, respectively (Table 5). For experiment 02, the lowest NGR values were observed for the cultivars TD1, Embajador, BASF-02, Green Rise, and Green Power, with average FR values of 24.24, 19.41, 35.23, 23.15, and 23.59, respectively. According to the developing company, the Embajador rootstock is considered to have moderate resistance to *M. javanica* and *M. incognita*

species, while TD1 has high resistance. For the BASF-02 rootstock, this information was not found as it is a material under development in the company's breeding program. The rootstocks Woodstock, Guardião, Green Power, and Green Rise, considered highly resistant to *M. javanica* and *M. incognita*, were susceptible to *M. enterolobii*.

Based on the obtained results, breeding program efforts must be directed towards the search for new sources of resistance to *M. enterolobii* and the development of breeding programs that focus on increasing tolerance to this nematode species. Plants tolerant to *M. enterolobii* are identified by minimal or no yield loss when infected, even under high infestation (Philbrick et al., 2020). Therefore, based on the tolerance values to *M. enterolobii*, seven rootstocks were selected for diallel analysis, being classified as i) higher tolerance (TD1 and Embajador), ii) intermediate tolerance (Shield and Muralha), and iii) low tolerance (BASF-01, BS PE 0041, and Woodstock).

**Table 4.** Anova type statistic and averages for the evaluation of different tomato rootstocks for control of *Meloidogyne enterolobii* in greenhouse.

Source of variation	DF	RF <sup>1/</sup>		NGR	
		Statistic	P value	Statistic	P value
<i>M. enterolobii</i>					
Experiments (E)	10.95	23.17	<0.001	152.52	<0.001
Genotypes (G)	1.00	112.61	<0.001	29.76	<0.001
E x G	11.99	7.86	<0.001	7.27	<0.001
Mean	Experiment 01			Experiment 02	
		RF	NGR	RF	NGR
<i>M. enterolobii</i>		27.81	802.84	50.10	1525.53

<sup>1/</sup>RF: reproduction factor, and NGR: nematode per gram of root.

**Fonte:** o próprio autor

### 3.3.3 Diallel analysis

Through variance analysis, significant effects were observed for treatments and for both general and specific combining abilities for NGR, indicating that both additive and non-additive effects influence the trait (Table 6). Quantifying these effects allows for a targeted approach in the breeding program, as additive effects can be accumulated over successive self-pollinations, enabling more direct selection

throughout the breeding program. On the other hand, non-additive effects (dominance and epistasis) are crucial for understanding and exploiting hybrid vigor (Lv et al., 2012; Onofri et al., 2020). In this context, based on the quadratic components, it was observed that non-additive effects predominate over additive effects, with a ratio of 0.1640. This report represents the first documentation in the literature of the inheritance of resistance to *M. enterolobii* in tomato crops. For cotton, (LV et al., 2012) found that dominance effect genes were more important for resistance to *M. incognita*. On the other hand, for maize Williams and Windham (1990) found that additive effects were more important for resistance to *M. arenaria* and *M. javanica*.

**Table 5.** Nematode evaluation per gram of root of different tomato rootstocks for control of *Meloidogyne enterolobii* in greenhouse.

Rootstocks	Exp1 <sup>1/</sup>		Exp2	
	NGR <sup>2/</sup>	RF	NGR	RF
BASF-01	1511.32 <b>ab</b>	49.81	1199.26 <b>c-f</b>	34.61
BASF-02	202.98 <b>f</b>	11.41	610.00 <b>fg</b>	35.23
BS PE 0041	1662.72 <b>a-c</b>	47.06	1411.34 <b>b-e</b>	40.88
WoodsTock	2193.02 <b>a</b>	53.19	1626.27 <b>a-d</b>	30.29
Volt	396.80 <b>ef</b>	20.67	1520.24 <b>a-e</b>	47.31
Shield	551.51 <b>de</b>	15.10	1903.71 <b>a-c</b>	41.18
Embajador	108.13 <b>f</b>	6.44	434.97 <b>g</b>	19.41
Rampart	832.82 <b>b-d</b>	38.81	2643.82 <b>a</b>	96.75
Emperador	747.19 <b>b-e</b>	40.38	2224.89 <b>ab</b>	113.89
Guardiao	1025.00 <b>b-d</b>	26.35	2525.39 <b>ab</b>	75.10
Green Power	801.20 <b>b-e</b>	25.71	769.41 <b>d-g</b>	23.59
TD1	119.08 <b>f</b>	7.83	420.40 <b>g</b>	24.24
Green Barrier	575.73 <b>de</b>	19.93	1605.05 <b>a-d</b>	51.14
Green Rise	759.67 <b>ce</b>	26.73	719.33 <b>e-g</b>	23.15
Muralha	405.17 <b>ef</b>	12.77	2080.85 <b>a-d</b>	55.23
Santa Clara	959.60 <b>b-d</b>	41.36	1835.28 <b>a-c</b>	66.59

<sup>1/</sup>Identical letters in the same column do not differ statistically by the Bonferroni test ( $p < 0.05$ ). <sup>2/</sup>NGR: nematode per gram of root and RF: reproduction factor.

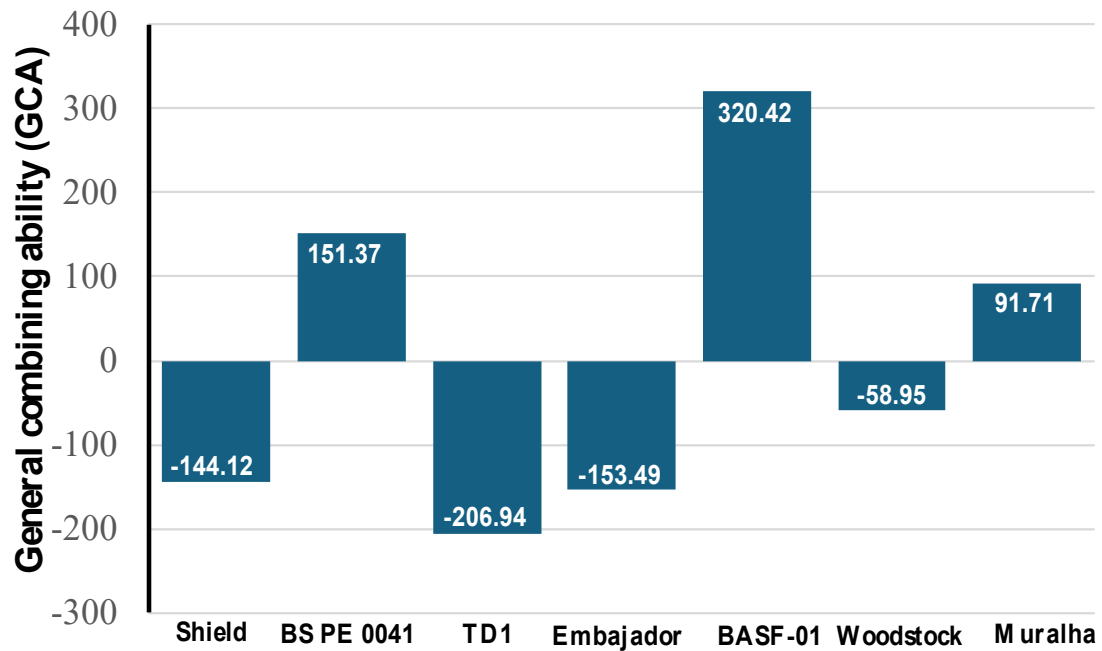
**Fonte:** o próprio autor

The choice of parents to form segregating populations is crucial for the success of breeding programs, and the combining ability, with the presence of complementary genes, is largely responsible for this success. According to Sprague and Tatum (1942), a low GCA value indicates that the average of the hybrids involving line  $i$  does not differ from the general average of the diallelic cross. On the other hand, high values, whether positive or negative, show that line  $i$  is significantly better or worse than the other lines included in the diallelic cross, in terms of the average of their hybrids. Therefore, the cultivars TD1, Embajador, and Shield obtained the lowest negative values for GCA, indicating that these genotypes play an important role in providing genes related to the reduction in the number of NGR (Figure 3).

**Table 6.** Estimate of the mean squares for tomato rootstock for general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA), residual effects, and quadratic components of GCA ( $\hat{\phi}_g^2$ ) and SCA ( $\hat{\phi}_s^2$ ) related to nematodes per gram of roots inoculated with *Meloidogyne enterolobii*.

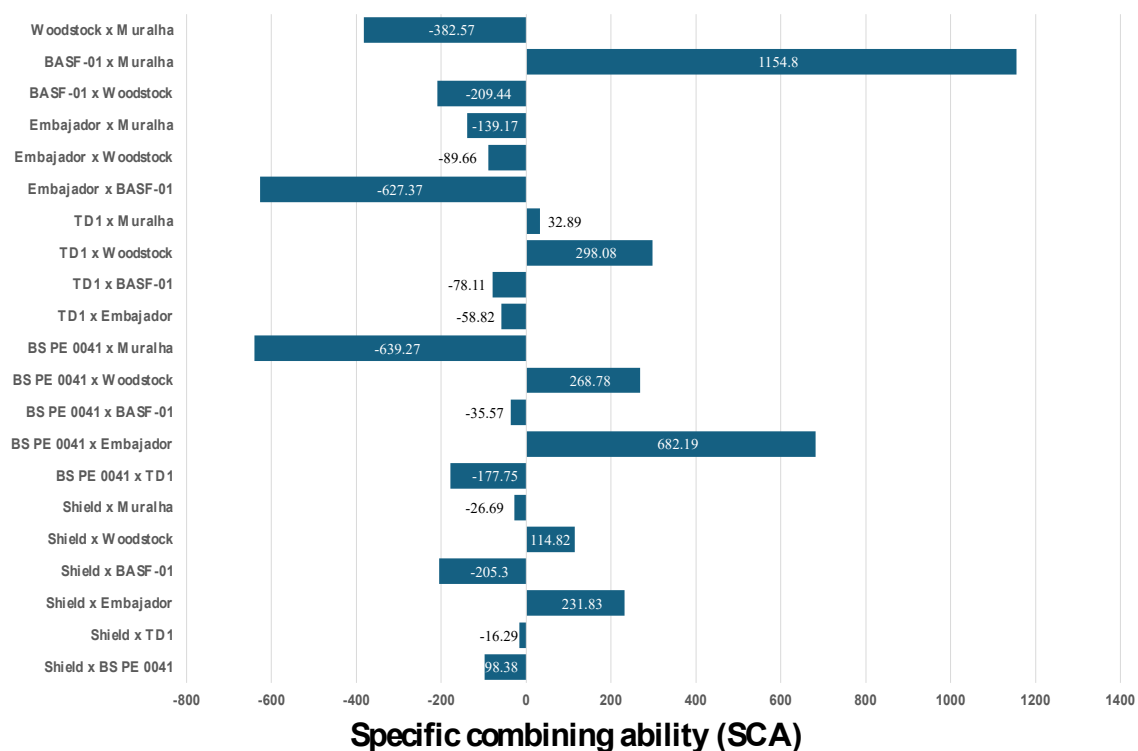
Source of variation	DF	Mean Square Nematode per gram of root
Genotypes	20	1537681.7**
GCA	6	187183**
SCA	14	224424**
Error	139	151784.7
Quadratic Component		
$\hat{\phi}_g^2$		33932.6
$\hat{\phi}_s^2$		206904.2
$\hat{\phi}_g^2/\hat{\phi}_s^2$		0.1640

**Fonte:** o próprio autor



**Figure 3.** Estimate of the general combining ability for seven tomato rootstocks related to nematodes per gram of roots inoculated with *Meloidogyne enterolobii*.

According to Sprague and Tatum (1942), the SCA effect is interpreted as the deviation of the hybrid from what is expected based on the GCA of its parents. Thus,  $s_{ij}$  values close to zero indicate that the hybrids perform as expected based on the GCA values, while high absolute  $s_{ij}$  values indicate better or worse performance than expected. Therefore, the crosses that stood out based on the SCA to reduce NGR were Embajador x BASF-01, Shield x BASF-01, and BS PE 0041 x Muralha (Figure 4).



**Figure 4.** Estimate of the specific combining ability for seven tomato rootstocks related to nematodes per gram of roots inoculated with *Meloidogyne enterolobii*

### 3.4 CONCLUSION

The study investigated the resistance of wild tomato accessions and tomato rootstocks to different species of nematodes, focusing on *Meloidogyne enterolobii* to elucidate the genetic basis of resistance to this pathogen. The results indicated a significant variation in resistance among the wild tomato accessions to *Meloidogyne* species. The *S. peruvianum* accession showed the lowest RF and NGR values, indicating a potential source of resistance, especially against *M. enterolobii*. The evaluated tomato rootstocks were susceptible to *M. enterolobii*, although some exhibited relatively low RF and NGR values, indicating a degree of tolerance. The diallel analysis revealed significant effects for the general and specific combining abilities, indicating the importance of additive and non-additive effects in the inheritance of resistance to *M. enterolobii*. The results highlighted the importance of

the genotypes TD1, Embajador, and Shield, based on the GCA values, for reducing the number of NGRs.

## 3.5 REFERÊNCIAS

- BACK, M.A., HAYDOCK, P.P.J., JENKINSON, P., 2002. Disease complexes involving plant parasitic nematodes and soilborne pathogens. **Plant Pathol** 51, 683–697. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.00785.x>
- BAILEY, D.M., 1941. The seedling test method for root-knot-nematode resistance. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 38, 573–575.
- BONETI, J.I.S., FERRAZ, S., 1981. Modificações no método de hussey & barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatol Bras** 6, 1–1.
- EL-SAPPAH, A.H., M. M., I., H. EL-AWADY, H., YAN, S., QI, S., LIU, J., CHENG, G., LIANG, Y., 2019. Tomato Natural Resistance Genes in Controlling the Root-Knot Nematode. **Genes** (Basel) 10, 925. <https://doi.org/10.3390/genes10110925>
- GABRIEL, M., KULCZYNSKI, S.M., MUNIZ, M.F.B., BOITEUX, L.S., CARNEIRO, R.M.D.G., 2020. Reaction of a heterozygous tomato hybrid bearing the *Mi-1.2* gene to 15 *Meloidogyne* species. **Plant Pathol** 69, 944–952. <https://doi.org/10.1111/ppa.13179>
- KARSSSEN, G., WESEMAEL, W., MOENS, M., 2013. Root-knot nematodes., in: **Plant Nematology**. CABI, UK, pp. 73–108. <https://doi.org/10.1079/9781780641515.0073>
- LV, A., ZHANG, H., ZHANG, Z., TAO, Y., YUE, B., ZHENG, Y., 2012. Conversion of the Statistical Combining Ability into a Genetic Concept. **J Integr Agric** 11, 43–52. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(12\)60781-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(12)60781-0)
- PHILBRICK, A.N., ADHIKARI, T.B., LOUWS, F.J., GORNY, A.M., 2020. *Meloidogyne enterolobii*, a Major Threat to Tomato Production: Current Status and Future Prospects for Its Management. *Front Plant Sci* 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.606395>
- PRADHAN, P., NARESH, P., BARIK, S., ACHARYA, G.C., BASTIA, R., ADAMALA, A.K., DAS, M.P., 2023. Breeding for root-knot nematode resistance in fruiting Solanaceous vegetable crops: a review. **Euphytica** 219, 71. <https://doi.org/10.1007/s10681-023-03204-2>
- PRZYBYLSKA, A., OBREPALSKA-STEPILOWSKA, A., 2020. Plant defense responses in monocotyledonous and dicotyledonous host plants during root-knot nematode infection. **Plant Soil** 451, 239–260. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04533-0>
- RUTTER, W.B., FRANCO, J., GLEASON, C., 2022. Rooting Out the Mechanisms of Root-Knot Nematode–Plant Interactions. **Annu Rev Phytopathol** 60, 43–76. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021621-120943>
- SHILPA, SHARMA, P., THAKUR, V., SHARMA, A., RANA, R.S., KUMAR, P., 2022. A status-quo review on management of root knot nematode in tomato. **J Hortic Sci Biotechnol** 97, 403–416. <https://doi.org/10.1080/14620316.2022.2034531>
- SIKANDAR, A., JIA, L., WU, H., YANG, S., 2023. *Meloidogyne enterolobii* risk to agriculture, its present status and future prospective for management. **Front Plant Sci** 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1093657>
- SILVA, A.J. DA, OLIVEIRA, G.H. DE, PASTORIZA, R.J., MARANHÃO, E.H., PEDROSA, E.M., MARANHÃO, S.R., BOITEUX, L.S., PINHEIRO, J.B., CARVALHO FILHO, J.L.S. de, 2019. Search for sources of resistance to *Meloidogyne enterolobii* in commercial and wild tomatoes. **Hortic Bras** 37, 188–198. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620190209>
- TOMAZ, J.P., GOUVEIA, A.C., DE SOUZA YOP, G., DA SILVA, S.A., MACHADO,

- A.C.Z., 2021. *Arabidopsis thaliana* as a susceptible host for studies of *Meloidogyne paranaensis* and plant interaction. **Trop Plant Pathol** 46, 465–475. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00424-6>
- WILLIAMSON, V., KUMAR, A., 2006. Nematode resistance in plants: the battle underground. **Trends in Genetics** 22, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2006.05.003>
- Williamson, V.M., 1998. ROOT-KNOT NEMATODE RESISTANCE GENES IN TOMATO AND THEIR POTENTIAL FOR FUTURE USE. **Annu Rev Phytopathol** 36, 277–293. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.277>

#### 4 ARTIGO 2 – DIVERSIDADE GENÉTICA E ANÁLISE DIALÉLICA DE PORTA-ENXERTO DE TOMATA PARA AGRICULTURA ORGÂNICA

**Abstract.** The use of rootstocks is a consolidated technique in tomato cultivation to change resistance and/or tolerance to various biotic and abiotic stresses, promoting greater plant uniformity and crop yield. However, research related to the use and selection of rootstocks in organic cultivation systems is scarce. Therefore, the present work aims to evaluate different commercial tomato rootstocks in terms of agronomic, biochemical and molecular characteristics. Furthermore, he envisioned starting a rootstock improvement program involving the development of new cultivars for the organic management system. To this end, 15 rootstocks were evaluated for different agronomic and biochemical characteristics of the fruits in two locations, using the Trindade cultivar as a graft. Furthermore, these rootstocks were characterized based on the AFLP molecular marker and based on this information, seven rootstocks were selected for diallel analysis based on the same agronomic and biochemical characteristics of the fruits. A wide variability of response to the agronomic and biochemical characteristics of the fruits was distributed among the different rootstocks, with an increase in the number of fruits and, consequently, in yield. In addition, biochemical modifications were applied to the fruits, mainly to increase reducing sugar and vitamin C, and reduce the amount of lycopene. This wide diversity was also selected from a molecular point of view and is mainly related to the genealogy and its (intra and interspecific) nature of the rootstocks. Through diallel analysis, a lack of significance was observed for the characteristics related to yield (TF, TCF, TFM and CFM), highlighting a performance similar to these indices and making selection for these characteristics unfeasible.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L., agronomic characterization, fruit quality, molecular marker, combining capacity

**Resumo.** O uso de porta-enxertos é uma técnica consolidada na cultura do tomate visando resistência e/ou tolerância a diversos estresses bióticos e abióticos, promovendo maior uniformidade das plantas e rendimento da cultura. No entanto,

pesquisas relacionadas com o uso e seleção de porta-enxertos em sistema de cultivo orgânico são escassos. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar diferentes porta-enxertos comerciais de tomate quanto a características agronômicas, bioquímicas e moleculares. Além disso, vislumbrou iniciar um programa de melhoramento de porta-enxertos visando o desenvolvimento de novas cultivares para o sistema de manejo orgânico. Para tanto, 15 porta-enxertos foram avaliados para diferentes características agronômicas e bioquímicas dos frutos em dois locais, utilizando a cultivar Trindade como enxerto. Além disso, esses porta-enxertos foram caracterização com base no marcador molecular AFLP e com base nessas informações sete porta-enxertos foram selecionados para análise dialélica com base nas mesmas características agronômicas e bioquímicas dos frutos. Uma ampla variabilidade de resposta para as características agronômicas e bioquímicas dos frutos foi observado entre os diferentes porta-enxertos, sendo verificado incremento no número de frutos e, conseqüentemente, no rendimento. Além disso, foi observado modificações bioquímicas nos frutos, principalmente, no aumento de açúcar redutores e vitamina C, e redução para o ter de licopeno. Essa ampla diversidade, também foi verificado do ponto de vista molecular sendo está relacionada, principalmente, a genealogia e a sua natureza (intra e interespecífico) dos porta-enxertos. Pela análise dialélica, foi observado ausência de significância para as características relacionadas com rendimento (TF, TCF, TFM e CFM), indicando um desempenho similar desses cruzamentos e inviabilizando a seleção para essas características.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L., caracterização agronômica, qualidade do fruto, marcador molecular, capacidade de combinação

## 4.1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das principais olerícolas cultivadas no mundo, com uma produção mundial estimada de 187 milhões de t, com crescimento médio de 3,0 milhões t ano<sup>-1</sup> nos últimos dez anos (FAO, 2022). Além do sabor, o fruto do tomate contém diversos compostos benéficos a saúde, como os compostos fenólicos (ácidos fenólicos e flavonóides), carotenoides (licopeno,  $\alpha$  e  $\beta$  caroteno), vitaminas (ácido ascórbico e vitamina A) e glicoalcalóides (tomatina) que estão associados à prevenção de diversas doenças, como câncer, doenças degenerativas e cardiovasculares (Ali et al., 2020; Vats et al., 2022). Além disso, são uma das olerícolas mais versáteis, sendo consumida in natura e utilizada para o preparo de uma ampla gama de produtos e subprodutos.

Muitos são os desafios encontrados para o cultivo e produção do tomate, sendo as doenças de solo um importante fator limitante devido a forte influência na produtividade e a dificuldade na erradicação de alguns patógenos em sistemas de cultivo (Cheng et al., 2021). No Brasil, os principais patógenos de solo que infectam o tomateiro cultivado em ambiente protegido são *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahliae*, *Ralstonia solanacearum* e os nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.) (Lopes and Reis, 2011). Dentre as medidas de controle, o uso de porta-enxertos vem sendo consolidado entre os agricultores brasileiros, pois além de resistência a doenças, algumas cultivares podem também promover uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes do solo, aumentando o vigor e produtividade das plantas (Lopes and Mendonça, 2016). No entanto, a seleção do porta-enxerto é um passo fundamental para o sucesso da enxertia e do cultivo.

A resistência dos porta-enxertos aos patógenos do solo é uma das principais características na seleção do porta-enxerto. No entanto, outras características também são importantes, como a taxa de germinação de sementes de porta-enxertos, emergência homogênea de sementes do porta-enxerto, compatibilidade porta-enxertos e a influência do porta-enxerto na qualidade dos frutos (Bayındır and Kandemir, 2022). Além disso, a arquitetura do sistema radicular é também uma característica importante do porta-enxerto, podendo influenciar significativamente várias funções fisiológicas, como absorção de água e nutrientes, e transporte para os enxertos (Bayındır and Kandemir, 2022; Suchoff et al., 2017).

No Brasil, diversas cultivares de porta-enxertos de diferentes empresas vêm sendo comercializadas entre os agricultores. No entanto, pesquisas relacionadas com o uso e seleção desses porta-enxertos em sistema de cultivo orgânico são escassos. A agricultura orgânica vem se consolidando no Brasil, com aumentos expressivos do número de produtores certificados nos últimos anos (MAPA, 2022). Atualmente, o país é o maior mercado de produtores da América Latina e Caribe (Vogt et al., 2022). Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar diferentes porta-enxertos comerciais de tomate quanto a características agronômicas, bioquímicas e moleculares. Além disso, vislumbrou iniciar um programa de melhoramento de porta-enxertos visando o desenvolvimento de novas cultivares para o sistema de manejo orgânico.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Material vegetal

Para esse estudo foram avaliados 15 cultivares comerciais e em desenvolvimento de porta-enxerto de diferentes empresas (Tabela 1). Os porta-enxertos foram enxertados na cultivar Trindade (Clause Vegetable Seeds). A enxertia foi realizada de acordo com o método proposto por YAMAKAWA, (1982). Sendo a enxertia por encostia, em que tanto a porta-enxerto como o cavaleiro (cultivar copa) podem ser semeados na mesma data. Com cerca de 4 folhas verdadeiras e com diâmetro de caule de 4 mm, as duas plantas (enxerto e porta-enxerto) são cortadas com auxílio de uma lâmina fina. A altura do corte é entre os cotilédones e a primeira folha verdadeira. As duas plantas são unidas na área da incisão e são colocados cliques para que elas permaneçam unidas.

**Tabela 1.** Características de resistência a diferentes fungos dos solos dos 15 cultivares comerciais de porta-enxerto e suas respectivas empresas que desenvolveram.

Tratamentos	Marca	Resistência							
		Rs	PI	Fol 1 e 2	Fol 3	For	Vd	Ma,Mi,Mj	
1 15016830001	Basf	si	si	si	si	si	si	si	
2 24777802004	Basf	si	si	si	si	si	si	si	
3 BS PE 0041	Blue Skies	si	si	si	si	si	si	si	
4 Woods Tock	Sakata Seed Sudamerica	HR	IR	HR	HR	HR	HR	HR	
5 Volt	Sakata Seed Sudamerica	IR	IR	HR	HR	HR	IR	HR	
6 Shield	Rijk Zwaan	si	si	si	si	si	si	si	
7 Embajador	Rijk Zwaan	HR	HR	HR	HR	HR	HR	IR	
8 Rampart	Rijk Zwaan	HR	IR	HR	HR	HR	HR	IR	
9 Emperador	Rijk Zwaan	HR	HR	HR	HR	HR	HR	IR	
10 Guardião	Takii	HR	ni	HR	ni	HR	HR	HR	
11 Green Power	Takii	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR	
12 TD1	Takii	IR	HR	HR	HR	HR	HR	HR	
13 Green Barrier	Takii	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR	
14 Green Rise	Takii	HR	HR	HR	HR	HR	HR	HR	
15 Muralha	Takii	HR	si	HR	si	HR	HR	HR	

Rs - Murcha bacteriana (*Ralstonia*), PI- *Pyrenochaeta lycopersici*, Fol 1 e 2 - Murcha de Fusarium (*Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* raças 1 e 2, Fol 3 - Murcha de Fusarium (*Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* raças 1 e 2, For – *Fusarium oxysporum f. sp. Radicis-lycopercisi*, Vd – *Verticillium dahliae*, Ma,Mi,Mj - *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica*. HR = Alta Resistencia, IR = Resistencia Intermediária, si = sem informação.

**Fonte:** o próprio autor

#### 4.2.2 Condições experimentais

A cultivar Trindade foi enxertada nos 15 porta-enxerto e a cultivar Trindade sem enxertia foram avaliados em dois ambientes, sendo nos municípios de São Sebastião da Moreira e Rolândia, Paraná. Em ambos os locais, os produtores adotam

o sistema de manejo orgânico. O solo em estufa foi preparado com composto humorgan (<https://humorgan.com/>) na proporção 1/1. O manejo e os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade do cultivo, sendo aplicados produtos fitossanitários recomendados para o manejo orgânico para cultura do tomate. O sistema de irrigação adotado foi gotejamento e o delineamento adotado foi de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo cada repetição composta por doze plantas. O espaçamento utilizado foi de 0,40 m entre plantas e 1,00 m entre linhas de plantio.

#### 4.2.3 Características agronômicas avaliadas

As características agronômicas avaliadas foram: i) número total de frutos (TF) – obtido pela contagem de todos os frutos produzido na unidade experimental, ii) massa total de frutos (TFM) - expresso em kg, obtido pela pesagem de todos os frutos colhidos nas unidades experimentais; iii) número comercial de frutos (TCF) - obtido pela contagem dos frutos sem danos mecânicos, de pragas e doenças, produzidos nas unidades experimentais; iv) massa comercial de frutos (CFM) - expresso em kg, obtido pela pesagem dos frutos comerciais selecionados no item anterior, da unidades experimentais; produção total dos frutos (TP) - expresso em kg, obtido pela razão entre MFT e TF e produção comercial dos frutos (CTP) - expresso em kg, obtido pela razão entre CFM e TCF.

#### 4.2.4 Características físico-químicas dos frutos avaliadas

Para as análises físico-química dos frutos foram avaliados 10 frutos por repetição. A massa dos frutos (Mass) em gramas, foi determinada em balança semi-analítica (Prix Os 360 R2, Nowak), o comprimento (Length), diâmetro (Width) e espessura do pericarpo (PT) foram medidos com o auxílio de um paquímetro (EC799, Starrett®), expressos em mm, a Firmeza (Firmmess) determinada por meio do uso de penetrômetro digital com uma ponta de 3 mm (FR-5120, Lutron, Taiwan) em dois pontos opostos na zona equatorial, sendo os resultados expressos em Newtons (N).

O teor de sólidos solúveis totais (SS) foi determinado em refratômetro digital com compensação de temperatura automática a 25 °C (Atagor), de acordo com a ISO 2173, e expresso em °Brix. A acidez total titulável (AT) foi quantificada por titulometria com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L<sup>-1</sup>, de acordo com o método 942.15 da

Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). Vitamina C (VITC) foi quantificada pelo método titulométrico baseado na AOAC (1984) e modificado por BENASSI e ANTUNES, (1988), expressado em mg ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup>.

A extração do licopeno (Lycopene) foi adaptada de ADALID; ROSELLÓ e NUEZ (2010), modificando a solução extratora para etanol e hexano (3:2, v/v). com leitura em espectrofotômetro (Genesys 10, Thermo) a 470 nm, expressando em mg kg<sup>-1</sup>. A quantificação dos açúcares redutores (RS) foi determinada pelo método DNS proposto por MALDONADE *et al.* (2013).

Para a determinações dos compostos fenólicos totais (TPC) e atividade antioxidante (DPPH) foi realizado um extrato de acordo com metodologia de VÁZQUEZ *et al.* (2008) com adaptação. Para determinação do TPC, o método utilizado foi o SWAIN e HILLIS (1959), e a absorvância foi medida em comprimento de onda de 765 nm em um espectrofotômetro Micronal (AJX1600), os resultados foram expressos como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de amostra (mg GAE 100 g<sup>-1</sup>). Para a determinação da capacidade antioxidante (DPPH) pela metodologia do sequestro do radical 2,2- Diphenyl-1-picryl-hidrazil (DPPH•), e a absorvância do radical DPPH• remanescente foi determinada em espectrofotômetro (Thermo- Genesys) no comprimento de onda de 517 nm, os resultados foram expressos em µmol de capacidade antioxidante de equivalente de trolox (TEAC) por 100 g de amostra (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995).

#### 4.2.5 Caracterização molecular dos porta-enxertos

Por meio de 100 g folhas frescas de cada acesso, foi utilizado o protocolo de Doyle e Doyle (1990). O DNA isolado dessas folhas foi avaliado quanto sua integridade e qualidade por eletroforese, e quantificadas espectrofotometricamente se utilizando de Nanodrop 2000/2000c (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). A técnica foi utilizada de acordo com VOS *et al.* (1995), com modificações. Em torno de 500 ng do DNA total foi duplamente digerido com 1 U MseI e 5 U EcoRI (Thermo Scientific, California-USA) e ligados a adaptadores EcoRI (0.5 µm) e MseI (5 µM) ao mesmo tempo. O programa de digestão-ligação consiste em: 37°C por 4h, após 22°C por 1 hora, e finalmente a 70°C por 10 minutos. O padrão de digestão-ligação foi

observado em gel de agarose a 1%. Depois da confirmação da digestão, o produto da amplificação foi diluído quatro vezes (v/v) com água ultrapura.

A amplificação pré-seletiva foi feita se utilizando de 3.5 µL de Gotaq® Green Master Mix (Promega, Winchester-USA), 0.58 µl EcoRI + A e MseI + C (4.75 µM) primers pré-seletivos, 3.0 µL de produto da digestão-ligação e 2.92 µL de água ultrapura. O programa para amplificação pré-seletiva foi composto por 1 ciclo de 1 minutos a 72°C, 20 ciclos de 1 segundo a 94°C, ciclo de 30 a 56°C, 2 minutos a 72°C e um último ciclo de 30 minutos a 60°C. O produto dessa amplificação pré-seletiva foi comprovado em gel de agarose a 1% e o produto da amplificação foi diluído oito vezes (v/v) em água ultrapura. Os iniciadores escolhidos para a amplificação seletiva para um ensaio fluorescente foram (EcoRI (FAM)/-ATC/MseI-CTCG, EcoRI (NED) – AGC/MseI-CAA, EcoRI (VIC) – ACT/MseI-GAG, EcoRI (PET) – AGC/MseI-CAC.

Com volume 10 µL contendo, 3.5 µL PCR Master Mix (Gotaq Green Master Mix, Promega, Winchester-USA); 0.54 µL de cada primer MseI (5 µM) e EcoRI (1 µM); 2.5 µL da mistura da reação e 2.92 µL água ultrapura, foi feita a amplificação seletiva. O programa de amplificação consistiu em ciclo de 2 minutos a 94°C, 30 segundos a 65°C, 2 minutos a 72°C, oito ciclos de 1 segundo a 94°C, 30 segundos a 56°C, 2 minutos a 72°C e o último com 30 minutos a 60°C. Através de eletroforese capilar foi possível visualizar os fragmentos, por meio de analisar genético automatizado 3500XL (Applied Biosystems, California-USA). Somente os fragmentos intensidade de fluorescência maior que 100 RFU (Relative Fluorescence Unit) foram analisados. Através da utilização do software GeneMapper® v. 4.1 (Applied Biosystems), os resultados foram combinados numa matriz binária.

#### 4.2.6 Análise dialélica

Com base nos resultados das avaliações de produção e qualidade dos porta-enxertos nos diferentes ambientes, sete porta-enxertos foram selecionados para cruzamentos em um dialelo completo 7 x 7, sem recíproco. Os sete porta-enxertos utilizados foram: Shield, Muralha, BS PE 0041, Green Rise, Guardião, 15016830001 e Woodstock. Os cruzamentos foram realizados em casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina (UEL), em esquema de dialelo com apenas os

F1s, sendo obtidos 21 híbridos duplos. Esses híbridos serviram de porta-enxerto para cultivar Trindade conforme descrito no item 2.1. Posteriormente, esses genótipos e duas testemunhas (Trindade sem porta-enxerto e Trindade enxertado com a Cultivar Guardiã) foram avaliadas em condições de campo em cultivo protegido no município de Apucarana, Paraná, Brasil. O manejo e os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade do cultivo, sendo aplicados produtos fitossanitários recomendados para o manejo orgânico para cultura do tomate. O sistema de irrigação adotado foi gotejamento e o delineamento adotado foi de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo cada repetição composta por 12 plantas. O espaçamento utilizado foi de 0,40 m entre plantas e 1,00 m entre linhas de plantio.

#### 4.2.7 Análise dos dados

Os dados de caracterização agrônômica e bioquímica dos 15 porta-enxertos foram analisados via metodologia dos modelos mistos. O modelo estatístico adotado foi  $y = X_r + Z_g + W_i + \epsilon$ , em que  $y$  é o vetor dos dados,  $r$  é o vetor de efeito repetição (considerado como fixo) adicionado a média geral,  $g$  é o vetor do efeito do genótipo (considerado como aleatório),  $i$  o vetor da interação entre genótipos x ambientes (GE) (aleatório), e  $\epsilon$  o vetor do erro (aleatório).  $X$ ,  $Z$  e  $W$  representam as matrizes de incidência sobre os efeitos descritos anteriormente. Com base nessa análise foi quantificado as variâncias e a herdabilidade no sentido amplo, acurácia seletiva dos genótipos, e correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes. Com os valores genotípicos preditos foram realizadas a análise de correlação de Pearson e análise multivariada, utilizando: i) agrupamento hierárquico de Ward por meio da distância euclidiana média padronizada, e ii) análise componentes principais. Essas análises foram realizadas pelos softwares Selegen – REML/BLUP (DE RESENDE, 2016) e R (R Core Team, 2018).

Para análise molecular, os dados foram transformados em uma matriz binária de presença (1) e ausência (0) do fragmento. Posteriormente, foi realizado a análise de agrupamento hierárquico de Ward com base na distância de Jaccard. O agrupamento bayesiano também foi realizado baseado no método descrito por EVANNO, REGNAUT e GOUDET (2005) utilizando 100.000 iterações MCMC (Monte Carlo Markov Chain), com burn-in de 10.000 iterações em um cluster misto e

frequências alélicas correlacionadas. Foram valores de subgrupo ( $\Delta K$ ) entre um e dez, com dez interações independentes para cada valor de k. O número ideal de K foi determinado usando Structure Harvester v0.6.92 (Earl, 2012) e os gráficos foram gerados na versão online do Structure Plot2 (RAMASAMY *et al.*, 2014).

Para análise dialélica, os dados foram submetidos a análise de variância e, posteriormente, a análise de Griffing (GRIFFING, 1956), adaptado para dialelos somente F1s sem recíprocos. Com base na análise foram estimados os efeitos da capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC, respectivamente). Os dados foram analisados pelo programa estatístico Genes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Análise de deviance

Com base na análise da deviance foi observado efeito significativo ( $p < 0.05$ ) da fonte tratamentos para maioria das características avaliadas, exceto para comprimento, largura e capacidade antioxidante, indicando resposta distinta dos porta-enxertos no enxerto (Tabela 2). Por sua vez, para as fontes de variação ambiente foi observado efeito significativo apenas para número total de frutos, massa dos frutos, espessura do pericarpo, açúcares redutores, acidez total titulável e capacidade antioxidante, enquanto para G x E para espessura de pericarpo, firmeza, açúcares redutores, acidez total titulável, compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante, licopeno e vitamina C. Os valores de acurácia variaram de 0.55 (massa comercial de frutos) a 0.97 (diâmetro), com predomínio dos valores acima de  $> 0.80$ . Para herdabilidade as características agronômicas variaram de 0.66 (número comercial de frutos) a 0.89 (diâmetro), ou seja, valores de herdabilidade moderados e altos. Significando que a maior parte da variação fenotípica do diâmetro é devido a genética. Enquanto para as características bioquímicas os valores variaram de 0.53 (sólidos solúveis totais) a 0.97 (açúcares redutores). Em que os sólidos solúveis totais apresentam variação fenotípica devido tanto a causas genéticas quanto ambientais, já açúcares redutores apresentam variação fenotípica devido a genética. O ambiente

1 apresentaram os maiores valores para massa, espessura de pericarpo, açúcares redutores e capacidade antioxidante em comparação com o ambiente 2. Por sua vez, no ambiente 2 foi observado maiores valores para número total de frutos.

**Tabela 2.** Análise da deviance, acurácia, herdabilidade e médias genóticas preditas para 16 características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate.

Traits <sup>1/</sup>	Deviance			Ac.	Herd.	Means	
	Gen	Env.	G x E			Amb1	Amb2
TF	**	**	ns	0.92	0.80	41.63	72.33
TCF	**	ns	ns	0.84	0.66	26.72	22.78
TFM	**	ns	ns	0.88	0.73	4.3	5.28
CFM	*	ns	ns	0.55	0.80	3.5	2.7
Length	ns	ns	ns	0.94	0.82	71.83	66.28
Width	ns	ns	ns	0.97	0.89	57.72	52.06
Mass	*	**	ns	0.92	0.81	142.24	105.72
PT	**	**	**	0.94	0.82	8.28	7,14
SS	*	ns	ns	0.81	0.53	4.49	4.11
Firmness	**	ns	**	0.88	0.70	16.53	16.61
RS	**	**	**	0.89	0.97	1.47	0.77
AT	**	**	**	0.94	0.96	0.23	0.34
TPC	**	ns	**	0.87	0.69	105.12	113.58
DPPH	ns	**	*	0.88	0.54	55.61	37.98
Lycopene	**	ns	**	0.81	0.85	72.29	65.52
VITC	**	ns	**	0.93	0.95	17.65	16.07

<sup>1/</sup>TF: número total de frutos, TCF: número comercial de frutos, TFM: massa total de frutos, CFM: massa comercial de frutos, Length: comprimento médio do fruto, Width: diâmetro médio do fruto, Mass: massa média do fruto, PT: espessura do pericarpo do fruto, SS: teor de sólidos solúveis totais, Firmness: firmeza do fruto, RS: açúcares redutores, AT: acidez total titulável, TPC: teor de compostos fenólicos, DPPH: determinação da capacidade antioxidante, Lycopene: licopeno, e VITC: vitamina C.

<sup>2</sup> ns e \*, \*\*: não significativo a nível de 5% de probabilidade, e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente pelos teste de Wald (efeitos fixos) e razão da verossimilhança (efeitos aleatórios).

**Fonte:** o próprio autor

#### 4.3.2 Valores genotípicos preditos e correlação

Para as características agronômicas, os genótipos 15016830001, BS PE 0041, Rampart, Green Barrier e Muralha obtiveram os maiores valores para número total de frutos e número comercial de frutos (Tabela S1). Para massa total de frutos, esses mesmos genótipos apresentaram os maiores valores (5.77, 5.00, 5.44, 5.04 e 4.99 Kg planta<sup>-1</sup>, respectivamente). No entanto, para massa comercial de frutos os maiores valores foram obtidos para os genótipos Volt, Rampart, 15016830001, Muralha e TD1 (3.79, 3.50, 3.47, 3.45 e 3.38 Kg planta<sup>-1</sup>, respectivamente). Dos 15 porta-enxertos avaliados, 11 apresentaram valores de massa total de frutos e massa comercial de frutos superiores ao tratamento não enxertado. A porcentagem de incremento de produção foram 3.19 – 25.70% para massa total de frutos e 3.29 – 16.68% para massa comercial de frutos. Para massa, os maiores valores foram observados para Emperador, 24777802004, Green Barrier e 1501683000, enquanto para espessura, os maiores valores foram observados para TD1, Green Barrier e 15016830001.

**Tabela S1.** Valores genotípicos preditos para oito características agronômicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate.

Genotypes	Características Agronômicas <sup>1/</sup>							
	TF	TCF	TFM	CFM	Length	Width	Mass	PT
15016830001	61.64	28.22	5767.81	3473.42	70.02	55.90	130.26	7.98
24777802004	45.86	20.64	3994.03	2287.58	71.00	56.53	135.46	7.33
BS PE 0041	62.53	26.53	5004.42	3305.75	68.87	54.64	121.93	7.81
Woodstock	58.30	25.17	4735.06	3074.81	66.94	54.39	123.24	6.98
Volt	59.22	24.78	4768.92	3794.28	68.68	54.81	120.12	7.70
Shield	62.28	24.78	4895.00	3156.06	69.46	54.10	120.01	7.66
Embajador	47.14	18.03	4209.69	2605.56	70.78	54.99	121.08	7.41
Rampart	61.03	28.72	5444.58	3500.97	68.01	53.94	120.32	7.55
Emperador	48.67	20.78	4313.20	2817.61	70.31	57.16	136.28	7.72
Guardião	59.95	24.95	4859.78	3096.81	69.67	54.11	121.56	7.62
Green Power	54.47	24.97	4243.86	2651.78	69.37	53.97	118.98	7.86
TD1	53.39	26.25	4852.64	3386.00	68.44	55.76	131.81	8.26
Green Barrier	60.17	26.89	5045.28	3292.11	68.10	54.94	122.34	8.03
Green Rise	59.28	25.56	4914.72	3217.53	68.17	54.33	120.11	7.79
Muralha	60.89	26.61	4997.78	3452.47	67.22	53.99	117.71	7.85
Trinidade	56.94	23.22	4588.61	2976.78	69.83	55.06	122.58	7.85

<sup>1/</sup>TF: número total de frutos, TCF: número comercial de frutos, TFM: massa total de frutos, CFM: massa comercial de frutos, Length: comprimento médio do fruto, Width: diâmetro médio do fruto, Mass: massa média do fruto, PT: espessura do pericarpo do fruto, SS: teor de sólidos solúveis totais, Firmness: firmeza do fruto, RS: açúcares redutores, AT: acidez total titulável, TPC: teor de compostos fenólicos, DPPH: determinação da capacidade antioxidante, Lycopene: licopeno, e VITC: vitamina C.

**Fonte:** o próprio autor

Para as características físico-químicas, os genótipos Guardião e Volt apresentaram os maiores valores para SS (5.19 e 5.17 °Brix, respectivamente), enquanto para açúcares redutores os maiores valores foram observados para os genótipos Guardião, Green Power, TD1 e Emperador (1.57, 1.55, 1.31 e 1.22%, respectivamente) (Tabela S2). Para firmeza do fruto, os maiores valores foram observados para os genótipos Woodstock, 15016830001 e Green Barrier (18.56, 18.45 e 18.41 N, respectivamente). Para acidez titulável foram observados valores variando de 0.22 a 0.33 mol L<sup>-1</sup>, enquanto para compostos fenólicos totais os valores variaram de 95.61 a 129.27 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>. Para licopeno os valores variaram de 58.57 a 109.95 mg kg<sup>-1</sup>, com destaque para o genótipo Rampart. Para vitamina C, os valores variaram de 13.10 a 20.70 mg ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup>, com destaque para os genótipos 1501683000, Guardião e Green Rise. Na comparação dos porta-enxertos com o sem porta-enxerto, foi observado um incremento maior apenas para açúcares redutores e vitamina C.

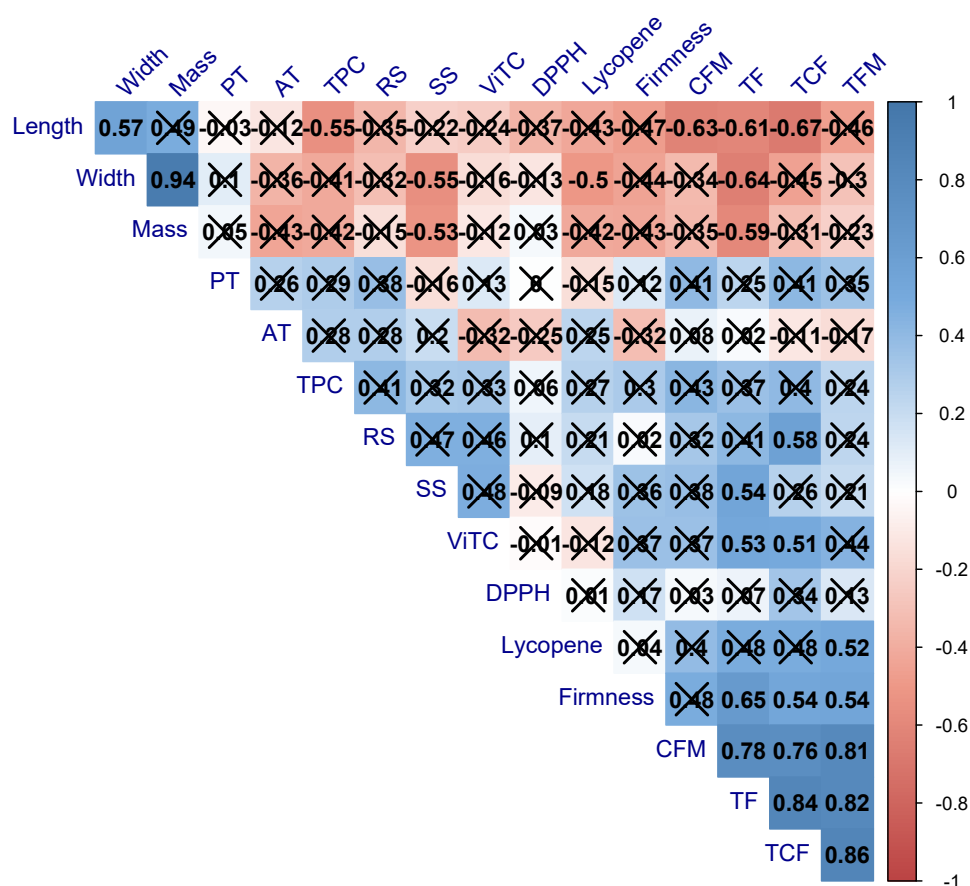
**Tabela S2.** Valores genotípicos preditos para oito características bioquímicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate

Genotypes	Características bioquímicas <sup>1/</sup>							
	SS	Firmness	RS	AT	TPC	DPPH	Lycopene	VITC
15016830001	4.17	18.45	1.02	0.22	108.03	45.15	67.44	20.70
24777802004	3.81	14.75	0.85	0.23	100.09	50.10	52.32	16.13
BS PE 0041	4.29	16.31	1.05	0.27	102.10	49.81	68.26	17.20
Woodstock	4.61	18.56	1.03	0.24	109.38	48.38	73.08	17.67
Volt	5.17	17.01	1.19	0.29	116.43	44.24	63.24	18.54
Shield	4.44	17.91	0.99	0.29	96.64	43.73	65.39	16.25
Embajador	3.85	15.73	0.37	0.31	98.09	45.57	60.44	13.10
Rampart	4.13	15.68	1.22	0.30	106.68	48.54	109.95	14.57
Emperador	3.61	12.80	1.07	0.32	95.61	42.05	63.14	15.64
Guardião	5.59	15.97	1.57	0.33	111.63	47.32	72.30	19.09
Green Power	4.27	15.96	1.55	0.31	111.53	45.76	62.80	17.75
TD1	3.78	16.79	1.31	0.30	114.10	50.18	57.66	14.70
Green Barrier	4.19	18.41	1.11	0.29	104.72	49.93	58.57	18.02
Green Rise	4.16	16.63	1.18	0.30	129.27	45.98	73.11	19.06
Muralha	4.31	16.75	1.09	0.33	127.08	47.63	76.94	17.32
Trinidade	4.48	17.54	1.03	0.31	118.30	44.41	77.92	14.12

<sup>1/</sup>SS: teor de sólidos solúveis totais, Firmness: firmeza do fruto, RS: açúcares redutores, AT: acidez total titulável, TPC: teor de compostos fenólicos, DPPH: determinação da capacidade antioxidante, Lycopene: licopeno, e VITC: vitamina C.

**Fonte:** o próprio autor

Pela análise de correlação Pearson foi observado uma alta correlação entre as características relacionadas com a produção (TF, TCF, TFM e TCF) (Figura 1). Essas características obtiveram uma correlação moderada com a firmeza, exceto com CFM. O Length obteve correlação negativa com CFM, TF e TCF, enquanto o Width e Mass com TF. A maioria das características físico-químicas não apresentaram correlação. A AT obteve correlação negativa com Length ( $r = -0.55$ ), enquanto SS correlação negativa com Width e Mass ( $r = -0.55$  e  $-0.53$ , respectivamente) e positiva com TF ( $r = 0.54$ ). A VitC também apresentou correlação positiva com TF ( $r = 0.53$ ) e TCF ( $r = 0.54$ ). RS obteve correlação positiva com TCF ( $r = 0.58$ ).

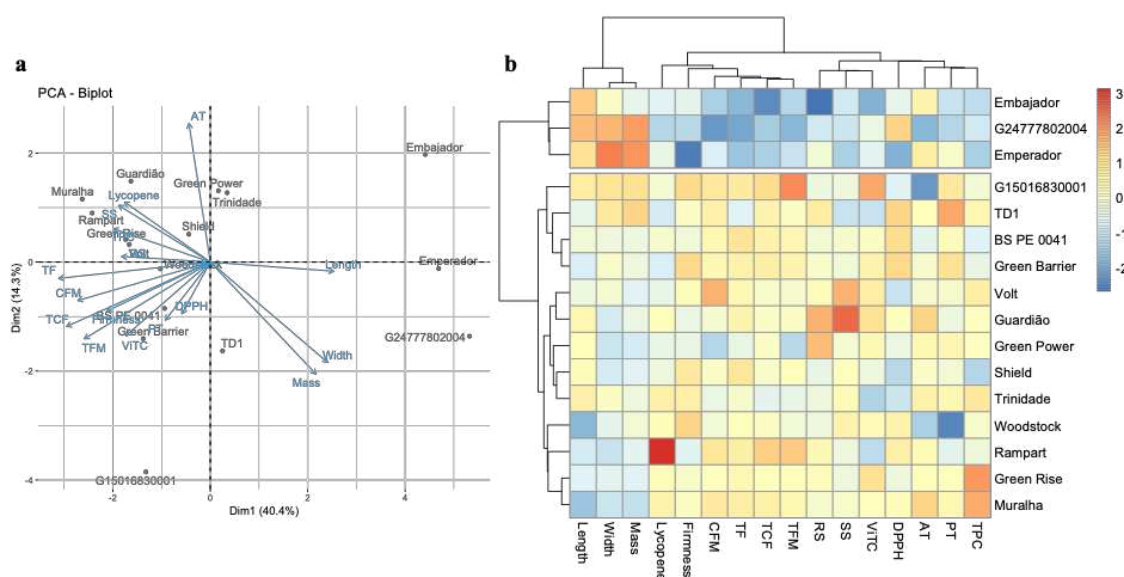


**Figura 1.** Análise de correlação entre 16 características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate.

<sup>1</sup>/TF: número total de frutos, TCF: número comercial de frutos, TFM: massa total de frutos, CFM: massa comercial de frutos, Length: comprimento médio do fruto, Width: diâmetro médio do fruto, Mass: massa média do fruto, PT: espessura do pericarpo do fruto, SS: teor de sólidos solúveis totais, Firmness: firmeza do fruto, RS: açúcares redutores, AT: acidez total titulável, TPC: teor de compostos fenólicos, DPPH: determinação da capacidade antioxidante, Lycopene: licopeno, e VITC: vitamina C.

### 4.3.3 Análise multivariada

Pela análise de componentes principais (PCA), os dois primeiros componentes explicaram 54.7% (PCA1 e PCA2 com 40.4 e 14.3%, respectivamente) (Figura 2a). Os genótipos Embajador, Emperador e G24777802004 apresentaram maior distanciamento genético dos demais genótipos. Esse resultado foi concordante com a análise de agrupamento hierárquico (Figura 2b), sendo que esses genótipos apresentaram os menores valores para maioria das características, exceto para Length, Width e Mass. Na PCA o genótipo G15016830001 também apresentou um distanciamento genético dos demais genótipos. No entanto, pela análise de agrupamento esse genótipo ficou alocado com os demais tratamentos.

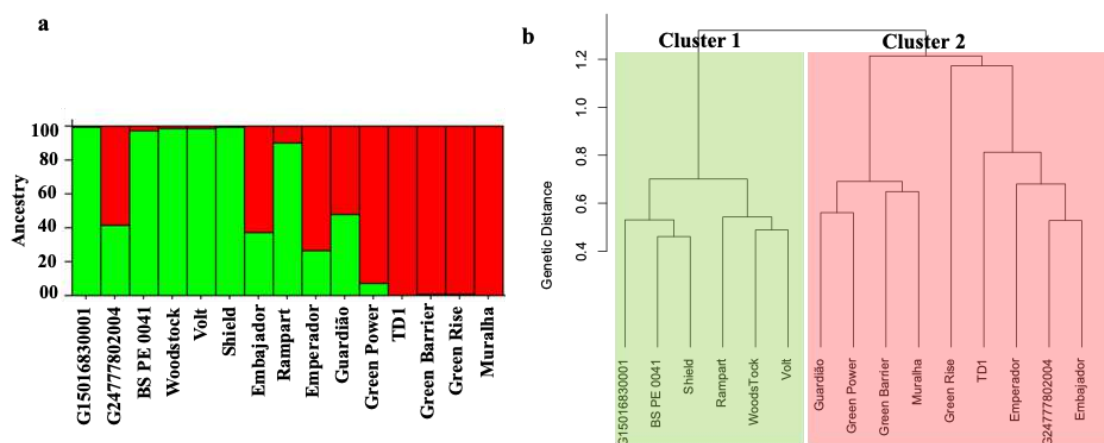


**Figura 2.** Análise de componentes principais (a) e agrupamento hierárquico de Ward com base na distância euclidiana padronizada (b) entre 16 características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes porta-enxertos de tomate.

<sup>1</sup>/TF: número total de frutos, TCF: número comercial de frutos, TFM: massa total de frutos, CFM: massa comercial de frutos, Length: comprimento médio do fruto, Width: diâmetro médio do fruto, Mass: massa média do fruto, PT: espessura do pericarpo do fruto, SS: teor de sólidos solúveis totais, Firmness: firmeza do fruto, RS: açúcares redutores, AT: acidez total titulável, TPC: teor de compostos fenólicos, DPPH: determinação da capacidade antioxidante, Lycopene: licopeno, e VITC: vitamina C.

#### 4.3.4 Análise molecular – AFLP

Na caracterização molecular por meio de marcadores AFLP, as quatro combinações de primers EcoRI/MseI (EcoRI (NED) – AGC/MseI-CAA; EcoRI (FAM)/-ATC/MseI-CTCG; EcoRI (VIC) – ACT/MseI-GAG; EcoRI (PET) – AGC/MseI-CAC) geraram um total de 498 marcadores, dos quais 337 foram polimórficos e utilizados para as análises subsequentes. Os agrupamentos hierárquicos e bayesiano dos 15 porta-enxertos de tomate estão apresentados na Figura 3. O método de Evanno et al. (2005) indicou a formação de 2 grupos distintos ( $\Delta K = 2$ ). O grupo 1 foram alocados os porta-enxertos G15016830001, BS PE 0041, Woodstock, Volt, Shield e Rampart, enquanto no grupo 2 foram alocados Emperador, Green Power, TD1, Green Barrier, Green Rise e Muralha (Figura 3a). Os porta-enxertos G24777802004, Embajador e Guardiã foram considerados como misturados. Pelo agrupamento hierárquico foi observado a formação de dois grupos (Figura 3b), sendo concordantes parcialmente com a análise bayesiana, no qual, não foi possível distinguir os misturados. Todas as cultivares da empresa Takii foram alocados no grupo 2, enquanto as cultivares da Rijk Zwaan e Basf foram alocados em ambos os grupos.



**Figura 3.** Análise bayesiana (a) e agrupamento hierárquico de Ward utilizando a distância de Jaccard (b) com base em marcadores AFLP em 15 porta-enxerto de tomate.

#### 4.3.5 Análise dialélica

Pela análise de variância foi verificado efeito significativo ( $p < 0.05$ ) da fonte

tratamentos apenas para comprimento, diâmetro, massa, espessura de pericarpo, sólidos solúveis totais, firmeza e licopeno (Tabela 3). Pelo desdobramento da soma de quadrado do efeito tratamento, na soma de quadrados para capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC, respectivamente), a maioria dessas características foram significativas, exceto firmeza que não foi significativo para CGC. No componente quadrático foi observado um predomínio dos efeitos não aditivos.

**Tabela 3.** Análise dialélica para 16 características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes híbridos de porta-enxerto de tomate.

Traits <sup>1/</sup>	Anova					Componente quadrático	
	Blocos	Trat	CGC	CEC	Erro	$\Phi_g$	$\Phi_{sj}$
TF	40.66	48.31 <sup>ns</sup>	39.51 <sup>ns</sup>	52.08 <sup>ns</sup>	45.05	-	-
	35.81	39.87 <sup>ns</sup>	21.52	47.73 <sup>ns</sup>	30.90	-	-
TCF			ns				
TFM	0.29	0.9 <sup>ns</sup>	0.72 <sup>ns</sup>	0.99 <sup>ns</sup>	0.82	-	-
CFM	0.33	0.80 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>ns</sup>	0.62	-	-
Length	582	702 <sup>**</sup>	679 <sup>*</sup>	712 <sup>**</sup>	239	29.30	157.72
Width	87	130 <sup>**</sup>	78 <sup>*</sup>	153 <sup>**</sup>	31	3.15	40.74
Mass	5.75	438 <sup>**</sup>	628 <sup>**</sup>	356 <sup>*</sup>	157	31.38	66.30
PT	0.08	0.37 <sup>**</sup>	0.34 <sup>*</sup>	0.38 <sup>**</sup>	0.12	0.01	0.09
SS	0.04	0.05 <sup>**</sup>	0.08 <sup>**</sup>	0.03 <sup>*</sup>	0.01	0.004	0.006
Firmness	0.05	4.14 <sup>*</sup>	2.07 <sup>ns</sup>	5.04 <sup>*</sup>	2.02	-	1.41
RS	0.06	0.10 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.07	-	-
AT	0.006	0.002 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	0.001	-	-
TPC	742	1608 <sup>ns</sup>	2637 <sup>ns</sup>	1167 <sup>ns</sup>	1121	-	-
DPPH	13.12	23.83 <sup>ns</sup>	53.54 <sup>ns</sup>	11.10 <sup>ns</sup>	26.31	-	-
Lycopene	14.91	410 <sup>**</sup>	708 <sup>**</sup>	282 <sup>*</sup>	120	39.18	53.98
VITC	2.98	3.65 <sup>ns</sup>	2.90 <sup>ns</sup>	3.96 <sup>ns</sup>	4.98	-	-

<sup>1/</sup>TF: número total de frutos, TCF: número comercial de frutos, TFM: massa total de frutos, CFM: massa comercial de frutos, Length: comprimento médio do fruto, Width: diâmetro médio do fruto, Mass: massa média do fruto, PT: espessura do pericarpo do fruto, SS: teor de sólidos solúveis totais, Firmness: firmeza do fruto, RS: açúcares redutores, AT: acidez total titulável, TPC: teor de compostos fenólicos, DPPH: determinação da capacidade antioxidante, Lycopene: licopeno, e VITC: vitamina

C.

<sup>2</sup> ns e \*, \*\*: não significativo a nível de 5% de probabilidade, e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente pelos teste F.

**Fonte:** o próprio autor

Para os efeitos da capacidade geral de combinação (gi), (tabela 4) os porta-enxertos Green Rise e G15016830001 promoveram maior incremento para comprimento do fruto, enquanto para o diâmetro e massa do fruto foi o porta-enxerto Guardiã. Para PT, o porta-enxerto que se destacou foi o Muralha, seguido por Green Rise e Guardiã. Em relação ao SS, o Guardiã também apresentou altos valores de gi, enquanto para licopeno foi o porta-enxerto BS PE 0041.

**Tabela 4.** Capacidade geral de combinação para características agronômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes híbridos de porta-enxerto de tomate.

Porta-enxertos	Características Agronômicas e Bioquímicas <sup>1/</sup>					
	Lenght	Width	Mass	PT	SS	Lycopene
Shield	-4.16	0.54	-3.75	-0.06	0.008	0.14
BS PE 0041	-2.85	1.36	-4.92	-0.20	-0.14	11.56
Green Rise	8.87	1.12	-8.31	0.10	0.04	2.01
Guardiã	-3.86	2.06	8.54	0.10	0.08	2.58
G15016830001	10.66	1.41	-2.79	-0.12	-0.05	-10.68
Woodstock	-3.57	-2.77	5.71	-0.04	0.03	-4.93
Muralha	-5.10	-3.74	5.52	0.23	0.02	-0.69

<sup>1/</sup>Lenght: comprimento médio do fruto, Width: diâmetro médio do fruto, Mass: massa média do fruto, PT: espessura do pericarpo do fruto, SS: teor de sólidos solúveis totais, e Lycopne: licopeno.

**Fonte:** o próprio autor

Para os efeitos da capacidade específica de combinação (sij), (tabela5) o cruzamento Green Rise x G15016830001 obteve o maior valor positivo para comprimento, enquanto para diâmetro e massa foram os cruzamentos Shield x Muralha, BS PE 0041 x Woodstock, Guardiã x Woodstock, e G15016830001 x Muralha. Para espessura de pericarpo, os cruzamentos que se destacaram foram Guardiã x G15016830001 e G15016830001 x Muralha com altos valores de sij. Esse resultado não foi concordante com a firmeza, no qual, os maiores valores positivos de sij foram obtidos para os cruzamentos Shield x G15016830001, Guardiã x Muralha e

BS PE 0041 x Muralha. Para sólidos solúveis, os cruzamentos que se destacaram foram Shield x Guardiã, BS PE 0041 x Guardiã e Green Rise x Guardiã, enquanto para licopeno foi o cruzamento BS PE 0041 x Woodstock.

**Tabela 5.** Capacidade específica de combinação para características agrônômicas e bioquímicas na avaliação de diferentes híbridos de porta-enxerto de tomate.

Porta-enxertos <sup>1/</sup>	Características Agrônômicas e Bioquímicas <sup>2/</sup>						
	Lenght	Width	Mass	PT	SS	Firmness	Lycopene
1 x 2	3.33	-3.34	-5.16	0.19	0.03	-0.97	-3.83
1 x 3	-6.69	-0.95	6.01	-0.04	0.05	0.61	11.51
1 x 4	3.27	-3.96	-2.47	-0.17	0.07	0.05	-9.58
1 x 5	-9.78	-3.39	-11.81	-0.38	0.04	1.67	-8.84
1 x 6	5.98	4.64	4.57	0.24	-0.11	0.78	-2.11
1 x 7	3.89	7.00	8.84	0.17	-0.08	-2.14	12.86
2 x 3	-10.06	-2.74	-0.75	0.07	-0.17	-1.37	-11.45
2 x 4	3.22	-3.38	-14.41	-0.13	0.10	0.69	-1.30
2 x 5	-8.09	-0.97	7.14	-0.63	-0.006	0.40	2.59
2 x 6	4.25	6.91	9.07	0.42	0.06	0.20	8.25
2 x 7	7.36	3.52	4.11	0.07	-0.01	1.06	5.74
3 x 4	-9.86	4.18	5.37	0.35	0.08	0.44	-0.55
3 x 5	46.67	-4.90	-3.20	-0.06	-0.06	0.76	-1.91
3 x 6	-11.37	0.81	-14.73	-0.30	0.03	-1.20	-1.81
3 x 7	-8.67	3.59	7.29	-0.02	0.07	0.76	4.22
4 x 5	-10.69	-0.75	1.81	0.39	-0.04	-1.56	18.91
4 x 6	8.39	3.37	17.31	-0.28	-0.18	-0.81	2.93
4 x 7	5.67	0.55	-7.60	-0.15	-0.04	1.19	-10.40
5 x 6	-8.55	4.47	1.24	0.33	0.10	0.32	-2.78
5 x 7	-9.54	5.54	4.82	0.35	-0.04	-1.59	-7.95
6 x 7	1.29	-20.20	-17.46	-0.41	0.10	0.72	-4.47

<sup>1/</sup> 1: Shield, 2: BS PE 0041, 3: Green Rise, 4: Guardiã, 5: G15016830001, 6: Woodstock, e 7: Muralha.

<sup>2/</sup> Lenght: comprimento médio do fruto, Width: diâmetro médio do fruto, Mass: massa média do fruto, PT: espessura do pericarpo do fruto, SS: teor de sólidos solúveis totais, Firmness: firmeza do fruto, e Lycopene: licopeno.

**Fonte:** o próprio autor

#### 4.4 DISCUSSÃO

A enxertia é uma técnica antiga usada por séculos em muitas culturas agrícolas (FULLANA-PERICÀS *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2019). Na cultura do tomate, essa técnica é amplamente utilizada em diversos sistemas de manejo visando resistência e/ou tolerância a diversos estresses bióticos e abióticos, promovendo maior uniformidade das plantas e rendimento da cultura (BAYINDIR; KANDEMIR, 2023). Além disso, o uso de porta-enxertos é considerado uma das soluções mais econômica e ambientalmente correta para a produção sustentável do tomate, minimizando ou eliminando o uso de agroquímicos (GRIENEISEN *et al.*, 2018; KABAS; KUCUKAYDIN, 2023). No Brasil, diversas cultivares de porta-enxertos vêm sendo disponibilizados para os agricultores. No entanto, existem poucas informações referente ao uso desses genótipos em sistema de manejo orgânico. Sendo assim, 15 porta-enxertos foram avaliados quanto a características agronômicas, bioquímicas e moleculares. Além disso, vislumbrou iniciar um programa de melhoramento de porta-enxertos visando o desenvolvimento de novas cultivares para o sistema de manejo orgânico.

Os altos valores de acurácia observado para maioria das características indicam a precisão das inferências das médias genotípicas, informando sobre a correta classificação dos genótipos para fins de seleção (Resende, 2002). Além disso, valores moderados e altos de herdabilidade observados no presente estudo, indica o predomínio dos efeitos genéticos em relação aos ambientais. A herdabilidade é o parâmetro central para qualquer programa de melhoramento, pois é usado para estimar as respostas de seleção e explicar a proporção da variação fenotípica causada por variações genéticas (FALCONER; MACKAY, 1996).

A ampla variabilidade observada do enxerto para as características agronômicas e físico-químicas, indicam que os diferentes porta-enxertos promoveram distintas respostas favorecendo maior número de frutos e, conseqüentemente, maior produtividade. Além disso, promoveram modificações bioquímicas nos frutos, principalmente, para açúcar redutores e vitamina C. A maioria dos porta-enxertos têm como foco principal a resistência a diferentes patógenos do solo. No entanto, tem-se observado que algumas empresas estão direcionando seus esforços para aprimorar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, visando aumentar a absorção de

água e nutrientes de forma mais eficiente. Essa abordagem busca otimizar os processos fisiológicos das plantas, promovendo um maior aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente (BAYINDIR; KANDEMIR, 2023). Diversos estudos vêm demonstrando aumentos significativos no rendimento de plantas com porta-enxertos em relação a não enxertadas (DJIDONOU *et al.*, 2013; ELLENBERGER *et al.*, 2021; KABAS; KUCUKAYDIN, 2023; NTATSI *et al.*, 2014; VENEMA *et al.*, 2008).

No presente estudo, apenas quatro porta-enxertos promoveram produtividade inferior a plantas não enxertadas e os cinco melhores porta-enxertos promoveram incremento médio de 17.75% (11.05 – 27.46%) na produção de frutos comerciais em relação a plantas não enxertadas. Esse aumento de rendimento está relacionado, principalmente, no aumento do número de frutos por planta. Por meio de estudos de meta-análises, GRIENEISEN *et al.* (2018) verificaram maior número de casos de aumento de rendimento de plantas enxertadas em relação a não enxertadas, com um aumento médio de rendimento de 0.66 Kg planta<sup>-1</sup>, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. Não foi observado incrementos significativos para as características físicas e firmeza dos frutos enxertados em relação aos não enxertados, exceto para os porta-enxertos G15016830001, G24777802004 e Emperador que promoveram uma maior massa média do fruto e os porta-enxertos G15016830001 e Green Barrier para maior firmeza dos frutos.

O efeito da enxertia na qualidade nutricional do fruto de tomate tem sido estudado em diferentes sistemas de manejo e o seu impacto sobre a qualidade do fruto tem sido demonstrado ser inconsistente, sendo altamente dependente das interações hormonais e bioquímicas da copa/porta-enxerto e suas interações com o ambiente. Joshi *et al.* (2021) avaliando diferentes porta-enxertos em diferentes épocas e condições de cultivo, verificaram que os atributos de qualidade dos frutos (sacarose, glicose, frutose, SS, acidez titulável, polifenóis, licopeno,  $\beta$ -caroteno e luteína) não apresentaram diferenças significativas entre frutos enxertados e não enxertados, exceto pela diminuição do nível de ácido ascórbico nos frutos das plantas enxertadas. No entanto, no presente estudo foram observados incrementos do ácido ascórbico e do açúcares redutores dos frutos enxertados em relação aos não enxertados, e uma diminuição para o teor de licopeno, exceto para o porta-enxerto Rampart. O licopeno, um dos principais carotenoides presentes no tomate, é amplamente reconhecido por sua atividade antioxidante no combate aos radicais livres. Diversos estudos indicam

respostas contraditórias da influência da enxertia para essa característica (HELYES *et al.*, 2009; Joshi *et al.*, 2021; MORENO *et al.*, 2019; NICOLETTO; TOSINI; SAMBO, 2013), sendo altamente dependente das interações copa/porta-enxerto.

A ausência de correlação entre as características agronômicas x bioquímicas e entre as bioquímicas indicam mecanismos genéticos distintos que controlam essas características. Além disso, segundo TSABALLA *et al.* (2021), as interações do enxerto são complexas com as porta-enxertados, podendo levar uma reprogramação da expressão gênica promovendo alterações substanciais na qualidade do fruto.

A ampla diversidade molecular encontrada nos diferentes porta-enxertos está relacionada principalmente a sua genealogia e a sua natureza (intra e interespecífico). A utilização de espécies silvestres tem sido amplamente utilizada para o desenvolvimento de cultivares de porta-enxerto, sendo o cruzamento entre *S. lycopersicum* x *S. habrochaites* amplamente utilizada no desenvolvimento de cultivares de porta-enxertos interespecíficos. No entanto, há poucas informações disponível sobre a genealogia e o uso de outras espécies silvestres como progenitor doador ou seus derivados como porta-enxerto no domínio público (KING *et al.*, 2010; KHAPTE *et al.*, 2022). No entanto, com base no marcador AFLP foi possível observar um agrupamento das cultivares da empresa Takii dentro do cluster 2, enquanto da Sakata (Woodstock e Volt) dentro do cluster 1. As cultivares G24777802004, Embajador e Guardiã foram consideradas como misturadas com base na análise bayesiana, indicando uma maior complexidade das informações do seu genoma.

Com base nessas informações (agronômicas, bioquímicas e moleculares), sete cultivares foram selecionadas para estudos de herança e para início de um programa de melhoramento para agricultura orgânica. No entanto, a ausência de significância para as características relacionadas com rendimento (TF, TCF, TFM e CFM) indicam um desempenho similar desses cruzamentos, inviabilizando a seleção para essas características. Efeitos significativos foram observados apenas para as características relacionados ao fruto e teor de licopeno, tendo o predomínio dos efeitos não aditivos. Esses resultados foram concordantes com outros trabalhos da literatura (HELYES *et al.*, 2009; GRAÇA *et al.*, 2015; EL-GABRY; SOLIEMAN; ABIDO, 2014; CONSTANTINO *et al.*, 2022), no qual, também verificaram superioridade dos efeitos não aditivos em relação as características físicas do fruto. Com base nos efeitos de  $g_i$  e  $s_{ij}$ , não foi possível identificar um genótipo ou um híbrido, respectivamente, que

reunisse a maioria dos atributos relacionados com aumento das características física do fruto, teor de sólidos solúveis e licopeno.

#### 4.5 CONCLUSÕES

Uma ampla variabilidade de resposta para as características agronômicas e bioquímicas dos frutos foi observado entre os diferentes porta-enxertos, sendo verificado incremento no número de frutos e, conseqüentemente, no rendimento. Além disso, foi observado modificações bioquímicas nos frutos, principalmente, no aumento de açúcar redutores e vitamina C, e redução para o ter de licopeno. Pela análise dialelica, foi observado ausência de significância para as características relacionadas com rendimento (TF, TCF, TFM e CFM), indicando um desempenho similar desses cruzamentos e inviabilizando a seleção para essas características.

#### 4.6 REFERÊNCIAS

ADALID, A.M., ROSELLÓ, S., NUEZ, F., 2010. Evaluation and selection of tomato

accessions (*Solanum* section *Lycopersicon*) for content of lycopene,  $\beta$ -carotene and ascorbic acid. **Journal of Food Composition and Analysis** 23, 613–618. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2010.03.001>

ALI, M.Y., SINA, A.A.I., KHANDKER, S.S., NEESA, L., TANVIR, E.M., KABIR, A., KHALIL, M.I., GAN, S.H., 2020. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. **Foods** 10, 45.

AOAC, 1984. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. **AOAC International**, Washington, DC.

BAYINDIR, S., KANDEMIR, D., 2022. Root System Architecture of Interspecific Rootstocks and Its Relationship with Yield Components in Grafted Tomato. **Gesunde Pflanzen** 1–13.

BENASSI, M.D.T., ANTUNES, A.J., 1988. A comparison of methaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia** 31, 507–513.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.-E., BERSET, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology** 28, 25–30.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed, Viçosa: UFV, 2014. 514p.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: estatística experimental e matrizes**. Viçosa: UFV, 2006. 285p.

CHENG, M., WANG, H., FAN, J., XIANG, Y., TANG, Z., PEI, S., ZENG, H., ZHANG, C., DAI, Y., LI, Z., 2021. Effects of nitrogen supply on tomato yield, water use efficiency and fruit quality: A global meta-analysis. **Scientia Horticulturae** 290, 110553.

CONSTANTINO, L.V., DE ARAUJO, S.R., FUKUJI, A.S.S., NOGUEIRA, A.F., DE LIMA FILHO, R.B., ZEFFA, D.M., NICIO, T.T., OLIVEIRA, C., GONÇALVES, L.S.A., 2022. Post-harvest characterization and sensory analysis of Roma tomato cultivars under organic cultivation: A strategy using consumers and chefs. **International Journal of Gastronomy and Food Science** 29, 100564.

DJIDONOU, D., ZHAO, X., SIMONNE, E.H., KOCH, K.E., ERICKSON, J.E., 2013. Yield, water-, and nitrogen-use efficiency in field-grown, grafted tomatoes. **HortScience** 48, 485–492.

EARL, D.A., 2012. STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing

STRUCTURE output and implementing the Evanno method. **Conservation genetics resources** 4, 359–361.

EL-GABRY, M.A.H., SOLIEMAN, T.I.H., ABIDO, A.I.A., 2014. Combining ability and heritability of some tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. **Scientia Horticulturae** 167, 153–157.

ELLENBERGER, J., BULUT, A., BLÖMEKE, P., RÖHLEN-SCHMITTGEN, S., 2021. Novel *S. pennellii* × *S. lycopersicum* Hybrid Rootstocks for Tomato Production with Reduced Water and Nutrient Supply. **Horticulturae** 7, 355.

EVANNO, G., REGNAUT, S., GOUDET, J., 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. **Molecular ecology** 14, 2611–2620.

FALCONER, D.S., MACKAY, T.F.C., 1996. **Introduction to Quantitative Genetics**. 180 pp.

FULLANA-PERICÀS, M., CONESA, M.À., RIBAS-CARBÓ, M., GALMÉS, J., 2020. The use of a tomato landrace as rootstock improves the response of commercial tomato under water deficit conditions. **Agronomy** 10, 748.

GRAÇA, A.J.P., AMARAL JÚNIOR, A.T., RODRIGUES, R., GONÇALVES, L.S.A., SUDRÉ, C.P., VIVAS, M., MELO, P.C.T., 2015. Heterosis and combining ability of dual-purpose tomato hybrids developed to meet family farmers' needs in Brazil and Mozambique. **Horticultura Brasileira** 33, 339–344.

GRIENEISEN, M.L., AEGERTER, B.J., SCOTT STODDARD, C., ZHANG, M., 2018. Yield and fruit quality of grafted tomatoes, and their potential for soil fumigant use reduction. A meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development** 38, 1–16.

GRIFFING, B., 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian journal of biological sciences** 9, 463–493.

HELYES, L., LUGASI, A., POGONYI, A., PÉK, Z., 2009. Effect of variety and grafting on lycopene content of tomato (*Lycopersicon lycopersicum* L. Karsten) fruit. **Acta Alimentaria** 38, 27–34.

JOSHI, M., LESKOVAR, D., DJIDONOU, D., JIFON, J., AVILA, C., MASABNI, J., CROSBY, K., 2021. Production Systems and Growing Environments Had Stronger Effects than Grafting on the Nutritional Quality of Tomato. **ACS Food Science & Technology** 1, 1399–1411.

KABAS, A., KUCUKAYDIN, H., 2022. Effect Of Tomato Interspecific Hybrid (F1)

- Rootstocks On Yield And Fruit Quality Traits. **Gesunde Pflanzen** 1–10.
- KHAPTE, P.S., KUMAR, P., WAKCHAURE, G.C., JANGID, K.K., COLLA, G., CARDARELLI, M., RANE, J., 2022. Application of phenomics to elucidate the influence of rootstocks on drought response of tomato. **Agronomy** 12, 1529.
- KING, S.R., DAVIS, A.R., ZHANG, X., CROSBY, K., 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. **Scientia horticulturae** 127, 106–111.
- LOPES, C.A., MENDONÇA, J.L., 2016. Reação de acessos de jurubeba à murcha bacteriana para uso como porta-enxerto em tomateiro. **Horticultura Brasileira** 34, 356–360.
- LOPES, C.A., REIS, A., 2011. Doenças do tomateiro cultivado em ambiente protegido. Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E).
- MALDONADE, I.R., DE CARVALHO, P.G.B., FERREIRA, N.A., 2013. **Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS.**
- MORENO, M.M., VILLENA, J., GONZÁLEZ-MORA, S., MORENO, C., 2019. Response of healthy local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) populations to grafting in organic farming. **Scientific Reports** 9, 1–10.
- NICOLETTO, C., TOSINI, F., SAMBO, P., 2013. Effect of grafting on biochemical and nutritional traits of 'Cuore di Bue'tomatoes harvested at different ripening stages. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Section B–Soil & Plant Science 63, 114–122.
- NTATSI, G., SAVVAS, D., HUNTENBURG, K., DRUEGE, U., HINCHA, D.K., ZUTHER, E., SCHWARZ, D., 2014. A study on ABA involvement in the response of tomato to suboptimal root temperature using reciprocal grafts with notabilis, a null mutant in the ABA-biosynthesis gene LeNCED1. **Environmental and experimental botany** 97, 11–21.
- RESENDE, M.D.V. DE, 2016. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 16, 330–339.
- SUCHOFF, D.H., GUNTER, C.C., LOUWS, F.J., 2017. Comparative analysis of root system morphology in tomato rootstocks. **HortTechnology** 27, 319–324.
- SWAIN, T., HILLIS, W.E., 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 10, 63–68. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>
- TSABALLA, A., XANTHOPOULOU, A., MADEISIS, P., TSAFTARIS, A., NIANIOU-

- OBEIDAT, I., 2021. Vegetable grafting from a molecular point of view: the involvement of epigenetics in rootstock-scion interactions. **Frontiers in plant science** 11, 621999.
- VATS, S., BANSAL, R., RANA, N., KUMAWAT, S., BHATT, V., JADHAV, P., KALE, V., SATHE, A., SONAH, H., JUGDAOHSINGH, R., 2022. Unexplored nutritive potential of tomato to combat global malnutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 62, 1003–1034.
- VÁZQUEZ, G., FONTENLA, E., SANTOS, J., FREIRE, M.S., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J., ANTORRENA, G., 2008. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. **Industrial Crops and Products** 28, 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.03.003>
- VENEMA, J.H., DIJK, B.E., BAX, J.M., VAN HASSELT, P.R., ELZENGA, J.T.M., 2008. Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. **Environmental and Experimental Botany** 63, 359–367.
- VOGT, C. DE M., ALCANTARA ALENCAR, D., FOCHEZATTO, A., 2022. The economic impact of organic production in Brazil: A study based on municipal production hotspots. **PloS one** 17, e0264095.
- VOS, P., HOGERS, R., BLEEKER, M., REIJANS, M., LEE, T. VAN DE, HORNES, M., FRITERS, A., POT, J., PALEMAN, J., KUIPER, M., 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. **Nucleic acids research** 23, 4407–4414.
- YAMAKAWA, K., 1982. Use of rootstocks in Solanaceous fruit-vegetable production in Japan. **Japan Agricultural Research Quarterly** 15, 175–179.
- ZHANG, Z., CAO, B., LI, N., CHEN, Z., XU, K., 2019. Comparative transcriptome analysis of the regulation of ABA signaling genes in different rootstock grafted tomato seedlings under drought stress. **Environmental and Experimental Botany** 166, 103814

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

Houve grande variabilidade de resposta das características agronômicas e bioquímicas dos frutos entre os diferentes porta-enxertos. Aumento de número de frutos e açúcares redutores e vitamina C, enquanto houve redução do teor de licopeno. Através da análise dialélica não houve significância para as características relacionadas com rendimento (TF, TCF, TFM e CFM), indicando um desempenho similar desses cruzamentos e não sendo viável seleção para essas características.

O segundo artigo investigou a resistência acessos de tomate silvestre e porta-enxertos para diferentes espécies de nematoides, com foco em *Meloidogyne enterolobii* a fim de desvendar a base genética da resistência a esse patógeno. O resultado mais promissor foi alcançado pelo acesso *S. peruvianum*, com os menores valores de FR e NGR. Enquanto dentre os porta enxertos, tiveram destaque Embajador, Shield e TD1 por meio dos valores de CGC, para redução do número de NGR.