

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CURSO DE AGRONOMIA

MARIANA TAMIRES DA SILVA

MICROBIOLIZAÇÃO DE SEMENTES DE MARACUJAZEIRO AMARELO PARA CONTROLE DE *Fusarium* spp.

AREIA

2026

MARIANA TAMIRES DA SILVA

MICROBIOLIZAÇÃO DE SEMENTES DE MARACUJAZEIRO AMARELO PARA CONTROLE DE *Fusarium* spp.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Cordeiro do Nascimento.

Coorientadora: Dra. Hilderlande Florêncio da Silva.

AREIA

2026

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586m Silva, Mariana Tamires da.
Microbiolização de sementes de maracujazeiro amarelo para controle de Fusarium spp. / Mariana Tamires da Silva. - Areia:UFPB/CCA, 2026.
49 f. : il.

Orientação: Luciana Cordeiro do Nascimento.
Coorientação: Hilderlande Florêncio da Silva.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Biocontrole. 3. Passiflora edulis L. 4. Murcha de Fusarium. I. Nascimento, Luciana Cordeiro do. II. Silva, Hilderlande Florêncio da. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA CDU 631/635(02)

Elaborado por LUCIANNA SILVESTRE DE CASTRO AZEVÊDO - CRB-15/973

MARIANA TAMIRES DA SILVA

MICROBIOLIZAÇÃO DE SEMENTES DE MARACUJAZEIRO AMARELO PARA CONTROLE DE *Fusarium* spp.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Aprovado em: 19/11/2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Luciana Cordeiro do Nascimento (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Dra. Hilderlande Florêncio da Silva (Coorientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Dra. Magaly Morgana Lopes da Costa

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Me. Thamillys do Nascimento Silva

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

À minha mãe, Irnar Francisca (*in memoriam)*, a minha avó, Maria Augusta (*in memoriam),* ao meu avô, Antônio Severino (*in memoriam)* e ao meu pai, Severino Antônio, por todo amor, carinho, compreensão, ensinamentos, cuidado e orações, e a todos familiares e amigos que contribuíram com a minha jornada, dedico.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, minha eterna gratidão por me conceder o dom da vida, o amparo, a presença constante, minha família, amigos e conquistas. Entrego a Ti o meu futuro e todos os meus planos. Louvado seja!

À minha mãe, **Irnar Francisca (*in memoriam*)**, que acreditava mais em mim do que eu mesma. Mesmo ausente, me dá forças diárias para seguir em frente. A vida não lhe permitiu voar, mas me ensinou a criar minhas próprias asas. Eu te amo, mãe, obrigada por tudo.

Ao meu pai, **Severino Antônio (Bibiu do Jatobá)**, exemplo de esforço, luta e dedicação. Obrigada por seu esforço diário na frente de um computador e por abdicar de tanto para me oferecer o melhor, e por acreditar em mim e ser meu porto seguro. Eu te amo, pai.

À minha avó, **Maria Augusta (*in memoriam*)**, que me acolhia como filha e me protegia com orações e amor. Obrigada por tanto carinho e por entender por eu não poder ficar mais um pouco. Eu te amo, vovó.

Aos meus tios, tias e madrinhas **Itamar, Severina, Ivaneide, Idagmar, Ivanete, Socorro, Célia, Ana, Neide, Eliene, Liane**, à minha avó de coração **Edilza**, ao meu avô, **Antônio (*in memoriam*)** e aos meus tios e padrinhos **Isidro, Dunga, Jó, Izomar e Igor**, que me deram colo, amor e cuidado no momento mais difícil da minha vida. Obrigada por acreditarem em mim e me tratarem como filha. Amo vocês. À **Sônia**, minha madrasta, por trazer paz e apoio.

Aos meus **primos-irmãos e primas-irmãs**, **Itamara, Joaly, Iza, Duda, July, Lelê, Douglas, Victor, Mazinho, Junior e Wallace**, pela presença constante, apoio, carinho e força. Sou eternamente grata por todo amor e apoio.

À minha orientadora **Luciana Cordeiro**, referência e inspiração na fitopatologia. Agradeço por cada ensinamento, apoio e carinho. Tudo que sou como profissional reflete seu ensino.

As minhas amigas **Raianny Coutinho, Lais Milena, Rita de Cássia e Heloisa Gomes**, e aos meus amigos, **André Vinicius, Carlos Henrique, Rian Marques, Raphael Sammy, José Gabriel e Euler Sobral**, pela amizade, momentos, apoio, carinho e confiança em mim.

À minha amiga **Sara Rafaela**, por todo apoio e companhia em todos os momentos, você é inspiração de força, de luta e independência. Ao meu irmão de coração **João Henrique**, por todo companheirismo, conselhos, apoio e amizade verdadeira. Obrigada por tudo, amo vocês. A amizade de vocês me salva todos os dias.

Aos meus amigos-irmãos de turma **José Vinicius, José Arthur**, **Marcos Felipe**, **Gabriel Soares** e **Bruno Bondade** (BBB), pelo apoio constante, confiança, momentos e a amizade que levarei para sempre. Vocês são essenciais nessa jornada.

Ao trio do **LAFIT**, **Magaly Lopes e Thamillys Nascimento**, minhas doutoras e grandes amigas, agradeço por todo apoio, aprendizado e pela semente que plantaram em mim. Vocês são referências e serei eternamente grata por tudo, amo vocês.

Ao meu grupo querido **Eduardo Luã, Nicollas Ferreira, Thiago Moura, Marcos Gomes, Nataline Pontes, Amanda Sousa, Patrícia Constantino e Thaellysson**, que me acolheram nos momentos mais difíceis e encheram meus dias de risadas e companheirismo. Ao meu quarteto **Vanessa Maria, Hellen Ramos e Bia Azevedo**, que chegaram de forma inesperada e se tornaram amigas essenciais. Obrigada pelo carinho e parceria. A amizade de vocês me salva todos os dias.

A **Marcos André** e **Prof. Roseilton Fernandes**, pela amizade e parceria na monitoria AGROZOOBIO, e pelos aprendizados e apoio em momentos difíceis da minha vida.

Aos amigos **Roberta Florentino, Matheus Cardoso, Arthur Francisco, Germano Cavalcante, João Victor Borges, Filipe Costa, Pedro Henrique Miranda, Matheus Antony, Pedro Henrique Ribeiro, Luã Cavalcante, Gabriel Taveira e Leonardo Marques**, pela amizade, carinho, confiança e momentos compartilhados na graduação.

À **Suzana Aguiar**, exemplo de simplicidade e generosidade, por acreditar em mim, pela amizade e por me apresentar sua família, que me acolheu com tanto carinho. Você é luz.

A **Luiz Fernando**, pela parceria e momentos durante toda a graduação e por estar presente no momento mais difícil de minha vida. A **Roberto Ítalo**, pela confiança, generosidade e pela doação das sementes essenciais ao experimento. Vocês são profissionais inspiradores.

À **família LAFIT**, por toda ajuda, aprendizados e momentos compartilhados, que tornaram a caminhada mais leve. Em especial a **Matheus Cardoso, Silvana Nunes, Jakeline e Hilda Florencio, Edcarlos Camilo, Andreza Cunha, Analberto, Severino Neto, Mirelly, Kayonara, Robson Monteiro, Gabriela Monteiro, Dona Francisca, Clint Wayne e Lucy**.

À **Soledade Violeira, Socorro (Galega), Vandinha, Mendonça (tio) e Marilene Sobral**, por todo carinho e apoio em um dos períodos mais delicados da minha vida.

Aos professores da escola, **Marinho, Lígia, Wellington, Luzinete e Joseph**, e aos da universidade**, Bruno Malaquias, Bruno Dias, Ariadne Soares, Aline Rufino, Valdemir Fernandes, Rejane Mendonça, Elizanilda Ramalho, Adriana Ferreira, Fábio Mieleksi e Flávio Pereira**, por compartilharem conhecimento, apoio e conselhos fundamentais para minha formação acadêmica e pessoal. E a **Vaval**, **Ricardo** e as **servidoras do bloco D** pelo carinho.

RESUMO

O maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims.) apresenta grande importância socioeconômica para o Brasil devido a demanda comercial do fruto em vários setores de mercado e a geração de emprego e renda. No entanto sofre com várias doenças como a murcha de *Fusarium*, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (*Fop*), que reduz significativamente a produção. As principais formas de controlar consistem em métodos culturais e métodos genéticos, sendo necessário a busca por novas alternativas. Nesse contexto, o controle biológico desponta como uma alternativa promissora e sustentável. Em virtude do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de produtos comerciais à base de *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp. para controle de *Fusarium* spp. *in vitro* e *in vivo* pelo tratamento de sementes de maracujazeiro e analisar sua influência em atributos fisiológicos e morfológicos da planta. O experimento foi realizado no Laboratório de Fitopatologia, da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia- PB. Os tratamentos utilizados foram: T1- (ADE), T2- BT-Turbo Max® (1,33mL/200mL), T3- Bioimune® (5,33mL/200mL), T4- Biobaci®(2,67mL/200mL), T5- Trichoturbo® (0,00267mL/200mL), T6-Trichoagro® (1,87g/200mL). O controle *in vitro* foi realizado a partir do cultivo de *Fusarium* spp. em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) acrescidos dos tratamentos. As variáveis analisadas foram o diâmetro da colônia, inibição do crescimento micelial, área abaixo da curva de crescimento micelial, produção de esporos e porcentagem de inibição de esporos. O controle *in vivo* foi realizado a partir do tratamento de sementes de maracujazeiro amarelo com os tratamentos acima descritos, sendo semeadas em vasos de 1,5L com substrato em casa de vegetação após 24 horas da aplicação dos tratamentos. No 31° dia após a semeadura foi realizado a inoculação pelo método de "meia-lua" utilizando suspensão de esporos. No 30° dia após a inoculação, avaliou-se as variáveis de taxa de infecção, análises biométricas, como o comprimento da parte área e da raiz, diâmetro do caule, volume da raiz, massa seca da raiz e da parte aérea e as análises fisiológicas, como índices de clorofila Falker a, b e total, a fluorescência da clorofila *a*, com as variáveis fluorescência inicial (F0), a fluorescência máxima (Fm) e a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm), as trocas gasosas com as variáveis: taxa de assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (Ci), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EiC). No controle *in vitro*, todos os tratamentos foram eficientes na redução das variáveis analisadas sendo o de maior eficiência o Trichoagro®. No controle *in vivo*, o tratamento Bio-imune® apresentou maior eficiência dentre todos os utilizados por promover controle do patógeno assim como preservação do índice de clorofila *a* e total e das variáveis biométricas.

Palavras-chave: biocontrole; *Passiflora edulis* L; murcha de *Fusarium.*

ABSTRACT

The yellow passion fruit (Passiflora edulis Sims.) is of great socioeconomic importance to Brazil due to the commercial demand for its fruit in various market sectors and the generation of employment and income. However, it suffers from several diseases such as Fusarium wilt, caused by the fungus Fusarium oxysporum f. sp. passiflorae (Fop), which significantly reduces production. The main control methods consist of cultural and genetic methods, making it necessary to search for new alternatives. In this context, biological control emerges as a promising and sustainable alternative. Therefore, the objective of this work was to evaluate the efficiency of commercial products based on Bacillus spp. and Trichoderma spp. for the control of Fusarium spp. in vitro and in vivo by treating passion fruit seeds and to analyze their influence on the physiological and morphological attributes of the plant. The experiment was carried out in the Phytopathology Laboratory of the Federal University of Paraíba, Campus II, Areia-PB. The treatments used were: T1- (ADE), T2- BT-Turbo Max® (1.33 mL/200 mL), T3- Bioimune® (5.33 mL/200 mL), T4- Biobaci® (2.67 mL/200 mL), T5- Trichoturbo® (0.00267 mL/200 mL), T6- Trichoagro® (1.87 g/200 mL). The in vitro control was performed by cultivating Fusarium spp. in potato-dextrose-agar (PDA) culture medium supplemented with the treatments. The variables analyzed were colony diameter, mycelial growth inhibition, area under the mycelial growth curve, spore production, and percentage of spore inhibition. In vivo control was performed by treating yellow passion fruit seeds with the treatments described above, sowing them in 1.5L pots with substrate in a greenhouse 24 hours after treatment application. On the 31st day after sowing, inoculation was carried out using the "half-moon" method with a spore suspension. On the 30th day after inoculation, the following variables were evaluated: infection rate, biometric analyses such as shoot and root length, stem diameter, root volume, root and shoot dry mass, and physiological analyses such as Falker chlorophyll a, b and total indices, chlorophyll a fluorescence with the variables initial fluorescence (F0), maximum fluorescence (Fm) and quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm), gas exchange with the variables: CO2 assimilation rate (A), stomatal conductance (gs), internal CO2 concentration (Ci), transpiration (E), instantaneous water use efficiency (WUE), intrinsic water use efficiency (IWUE) and instantaneous carboxylation efficiency (ICE). In the in vitro control, all treatments were effective in reducing the analyzed variables, with Trichoagro® being the most efficient. In in vivo control, the Bio-imune® treatment showed greater efficiency among all those used by promoting pathogen control as well as preservation of chlorophyll a and total chlorophyll levels and biometric variables.

Keywords: biocontrol; *Passiflora edulis* L; *Fusarium* wilt.

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Morfologia botânica do maracujazeiro amarelo (*P. edulis*), A) plântula de maracujazeiro, B e C) plantas adultas, D) fruto E) flor, F) sementes..... 15

Figura 2 – Estruturas vegetativas e reprodutivas de *Fusarium* oxysporum f. sp. *passiflorae*. A) macroconídios, B) microconídos, C) clamidósporo e D) micélio fúngico..... 17

Figura 3 – Sintomas da murcha de *Fusarium*. A) amarelecimento, B) murcha, C) morte da planta, D) frutos deformados e murchos, E e F) escurecimento dos feixes vasculares..... 19

Figura 4 – Crescimento micelial de *Fusarium* spp., isolado do maracujazeiro amarelo em meio BDA, com produtos biológicos formulados a partir de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®)..... 32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — Eficiência de produtos biológicos à base de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) sobre *Fusarium* sp. em condições in vitro. A) diâmetro da colônia (DC), B) área abaixo da curva de crescimento micelial (AACCM), C) inibição do crescimento micelial (ICM)..... 31

Gráfico 2 — Eficiência de produtos biológicos (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) sobre *Fusarium* spp. isolado de maracujazeiro amarelo em condições in vitro. D) produção de esporos (PE) e E) inibição da produção de esporos (IPE)..... 34

Gráfico 3 — Taxa de infecção (TI) de *Fusarium* spp. em plantas de maracujazeiro amarelo (Passiflora edulis Sims) oriundas de sementes tratadas produtos biológicos à base de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* sp. (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) e inoculadas com *Fusarium* spp na fase de muda. Testemunha: Mudas inoculadas e sementes não tratadas com produtos biológicos..... 37

Gráfico 4 — Índice de clorofila a e total em plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims) oriundas do tratamento de sementes com produtos biológicos (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) e inoculadas com *Fusarium* spp. na fase de muda. Testemunha: Muda inoculada e semente não tratadas com produtos biológicos..... 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Produtos utilizados no controle *in vitro* e no tratamento de sementes para controle da murcha de *Fusarium* do maracujazeiro..... 26

Tabela 2 — Resumo da análise de variância para altura de planta (ALP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), comprimento de raízes (CPR), volume de raízes (VR), massa seca de raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), assimilação líquida de CO2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO2 (Ci), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência instantânea da carboxilação (EiC), fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), eficiência quântica do PSII (Fv/Fm), clorofila a (Chla), b (Chlb), total (Chlt), relação clorofila a/b (Chlab) e taxa de infecção (TI) em plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims) oriundas de sementes tratadas e mudas inoculadas..... 36

Tabela 3 — Análise da estimativa de custo de utilização de produtos biológicos à base de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* sp. (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) para realizar o tratamento de sementes de maracujazeiro amarelo visando o controle de *Fusarium* spp..... 48

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO .....**	12
2	**REVISÃO DE LITERATURA .....**	14
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA	14
2.2	DOENÇAS DO MARACUJAZEIRO	16
2.2.1	**Murcha de *Fusarium* em maracujazeiro.....**	16
2.3	MÉTODOS DE MANEJO PARA MURCHA DE *Fusarium*.....	20
2.3.1	**Controle Biológico.....**	20
2.3.1.1	Gênero *Trichoderma*.....…….…….……..	21
2.3.1.2	Gênero *Bacillus*.....…….……..	23
3	**METODOLOGIA ……...……...**	26
4	**RESULTADOS E DISCUSSÕES .....**	31
5	**CONCLUSÃO.....**	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A – ANÁLISE DE CUSTO	48
	APÊNDICE B – CONSIDERAÇÕES FINAIS	49

1 INTRODUÇÃO

As condições edafoclimáticas favoráveis, a disponibilidade de recursos naturais, o mercado consumidor e avanços na pesquisa agropecuária, consagra o Brasil como o terceiro maior produtor de frutas no mundo. A região de maior expressividade do país consiste na região Nordeste, apresentando como principais frutas produzidas a banana (*Musa* spp.), cacau (*T. cacao*), manga (*Mangifera indica* L.), mamão (*Carica papaya* L.), maracujá (*Passiflora edulis* Sims) e melão (*Cucumis melo* L.) (Vidal, 2024; Abrafrutas, 2025).

O maracujazeiro amarelo é uma frutífera tropical de extrema importância econômica e social devido a adaptação a maioria das regiões brasileiras, assim como a grande aceitação pelo mercado consumidor e pelo seu método de propagação ser, principalmente por sementes, considerado um método de baixo custo e de fácil acesso. Tais características colaboram para a geração de emprego, renda e contribuem de maneira significativa para o desenvolvimento do agronegócio brasileiro (Cavichioli; Meletti; Narita, 2018; Vieira *et al*., 2023).

No entanto, o cultivo do maracujazeiro é acometido por várias doenças, que podem reduzir de maneira significativa a produção (Carvalho Neto *et al.,* 2023). As principais doenças que ocorrem na cultura são de origem fúngica, podendo também apresentar patógenos como bactérias, vírus e nematoides. A murcha de *Fusarium*, causada pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* Gordon apud Purss (*Fop*) promove uma redução significativa da viabilidade do pomar, assim como a produtividade, uma vez que o fungo apresenta estrutura de resistência chamada de clamidósporos, dificultando seu controle (Batista; Barbosa, 2018; Lucas *et al*., 2023).

O método de controle mais indicado para o manejo dessa doença consiste em uso de cultivares resistentes, no entanto as cultivares disponíveis no mercado são indicadas apenas para utilização como porta-enxerto. Desse modo, realiza-se o manejo utilizando métodos culturais e outros métodos genéticos para evitar a disseminação do patógeno para áreas isentas e assim também possibilitar o cultivo em áreas infectadas, respectivamente. No entanto, alguns métodos oneram a produção, como a aquisição de mudas enxertadas, e tornam inviáveis para o estabelecimento da cultura (Laranjeira *et al*., 2018; Carvalho *et al.*, 2020; Ferreira *et al.,* 2023).

Diante disso, surge a necessidade de se buscar novos métodos para realizar o manejo da doença, como o controle biológico, que consiste no uso de microrganismos para controle de patógenos, além de ser considerado um método viável e seguro para o meio ambiente (Barbosa *et al*., 2021). Nesse contexto, o objetivo do trabalho consiste em avaliar a eficiência de

diferentes agentes de biocontrole à base de *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp. no controle *in vitro* de *Fusarium* spp. e no controle *in vivo* da murcha de *Fusarium* do maracujazeiro amarelo e a sua influência nos atributos biométricos e fisiológicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

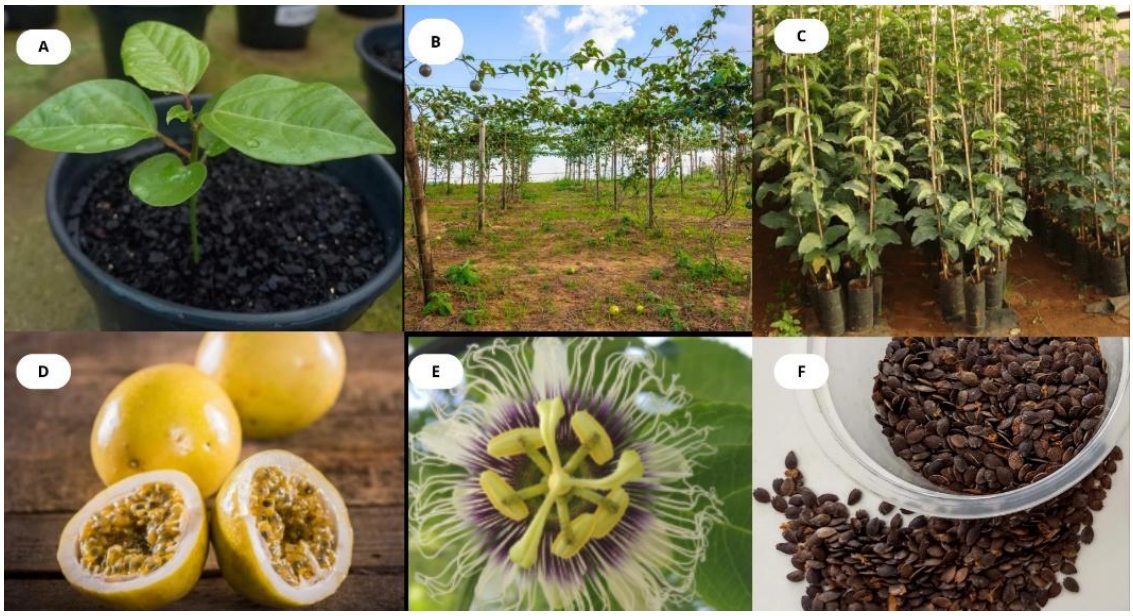
2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA

O Brasil é o maior produtor e o maior consumidor mundial do fruto do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims.) (Vieira *et al.,* 2023). Em 2024, o país produziu mais de 736 mil toneladas de maracujá amarelo em uma área de 47 mil hectares, obtendo um rendimento de mais de 15 mil quilos por hectare. O Nordeste é a região de maior produção deste fruto do país, sendo o estado da Bahia, o maior produtor, apresentando mais de 264 mil toneladas de frutos produzidos, seguido pelo Ceará e Pernambuco com mais de 160 mil e 38 mil toneladas, respectivamente. A Paraíba produziu mais de 51 mil toneladas do fruto, sendo a quinta fruta mais produzida no estado (Abrafrutas, 2025; IBGE, 2025).

O maracujazeiro amarelo é uma frutífera pertencente à família Passifloraceae e ao gênero *Passiflora* L., o qual apresenta mais de 500 espécies, sendo 150 nativas do Brasil por ser um dos maiores centros de diversidade dessa frutífera. Apresenta como principais espécies a *P. alata* Curtis, o *P. edulis* e *P. cincinnata* Mast., correspondente ao maracujá-doce, maracujá-amarelo e ao maracujá-do-mato, respectivamente. No entanto, a espécie com maior importância econômica corresponde ao maracujazeiro-amarelo por ocupar cerca de 95% dos pomares brasileiros (Faleiro, 2022; Morillo; Manjarres; Morillo, 2024).

A principal característica desse gênero corresponde ao hábito trepador e a presença de gavinhas axilares, apresentando variação nos órgãos a depender da espécie. O maracujazeiro-amarelo (Figura 1.B-C) apresenta folhas simples, alternas, trilobadas, pecioladas, com ápice agudo e base cordada (Fig.1.A). O caule é cilíndrico, sendo mais lenhoso na base e mais flexível no ápice, e a raiz é do tipo pivotante. As flores são completas, hermafroditas e auto incompatíveis (Fig.1.E), com simetria radial e pentâmeras de coloração branca com franja roxa. Os frutos são do tipo baga indeiscentes de formato globóide amarelo onde contém uma polpa comestível (Fig.1.D) e as sementes do tipo ortodoxa, que são envoltas por uma mucilagem chamada arilo (Fig.1.F) (Almeida *et al.,* 2021; Flora e Funga, 2025).

Figura 1 — Morfologia botânica do maracujazeiro amarelo (*P. edulis*), A) plântula de maracujazeiro, B e C) plantas adultas, D) fruto E) flor, F) sementes.



Fonte: A e F: Elaborado pela autora, (2025); B: MF Magazine (2020); C: Cavichioli *et al*., (2014); E: Milward (2020).

Por ser uma frutífera tropical, a ocorrência de geadas, chuvas constantes e intensas, temperaturas abaixo de 15 °C, deficiência hídrica e altas altitudes provocam baixo vigor vegetativo e baixo desenvolvimento dos frutos. O maracujazeiro amarelo apresenta uma grande adaptação às condições encontradas em diversas regiões do Brasil por se desenvolver bem em locais que apresentam uma faixa de temperatura variando entre 21 e 25°C, com fotoperíodo de 11 horas ou mais por dia e umidade relativa do ar correspondente a 60% (Meira; Santos; Cruz, 2022) aliados ao manejo de adubação, fitossanitário e de irrigação (Souza *et al*., 2022).

Além da diversidade e a adaptação da frutífera às condições edafoclimáticas, a grande expressividade do maracujazeiro amarelo em pomares brasileiros é oriunda da grande demanda comercial do fruto em vários setores do mercado. Destaca-se a comercialização de frutos *in natura,* devido à grande aceitabilidade das características organolépticas pelo mercado consumidor, a agroindústria e a gastronomia, com a produção de sucos, geleias, doces e polpas, a indústria de cosméticos e medicinal em função das propriedades bioativas comprovadas do fruto e por ter aproveitamento de todas as suas partes como polpa, sementes e casca (Mesquita *et al*., 2024; Vieira *et al.,* 2023) contribuindo intensamente com o desenvolvimento econômico do Brasil.

A produção do maracujazeiro também apresenta importância social devido a geração de emprego e renda, principalmente para pequenos produtores, em que estima-se a cada hectare tenha a geração de até quatro empregos diretos e até nove indiretos (Cavichioli; Meletti; Narita,

2018) em razão da necessidade de mão obra durante todo o ciclo de produção, podendo ter o aproveitamento da mão de obra familiar. Além disso, é uma frutífera de ciclo curto, com aproximadamente 9 a 14 meses de duração do ciclo, e colheitas contínuas (Souza *et al*., 2022; Carvalho Neto *et al*., 2023).

O maracujazeiro amarelo pode ser propagado tanto de forma sexuada, por sementes, como assexuada, por enxertia e estaquia. A principal forma consiste na propagação sexuada devido a facilidade de obtenção e de produção. A enxertia é utilizada principalmente para obter resistências a patógenos de solo, uma vez que a propagação por sementes tem apresentado redução na duração do pomar devido a problemas com doenças. O processo de enxertia exige conhecimento, cuidados devido a autoincompatibilidade do pólen e principalmente compatibilidade do enxerto com o porta-enxerto (Cavichioli; Meletti; Narita, 2018; Cavichioli *et al*., 2021).

2.2 DOENÇAS DO MARACUJAZEIRO

Mesmo diante de condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura, o maracujazeiro amarelo é infectado por diversos patógenos como fungos, bactérias e vírus que podem provocar grandes prejuízos aos produtores devido a redução da produção, oriunda da perda de viabilidade do pomar e da produtividade. Dentre essas doenças, destacam-se a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, o vírus do endurecimento do fruto, causado pelo *Cowpea Aphid Born Mosaic Virus*, a verrugose, causada pelo fungo *Cladosporium* spp. e a mancha bacteriana, causada pela bactéria *Xanthomonas campestris* pv. *passiflorae* (Almeida *et al.,* 2021; Carvalho Neto *et al.,* 2023).

O maracujazeiro amarelo também é acometido, principalmente, por patógenos de solo que também podem infectar o sistema radicular da planta provocando impactos negativos significativos na produção devido ocasionarem inviabilidade do plantio em áreas infestadas. Dentre esses patógenos, destacam-se *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (*Fop)*, *F. solani* e *Phytophtora* spp. que causam, respectivamente, a murcha de *Fusarium*, a podridão do colo e a podridão do pé (Batista; Barbosa, 2018).

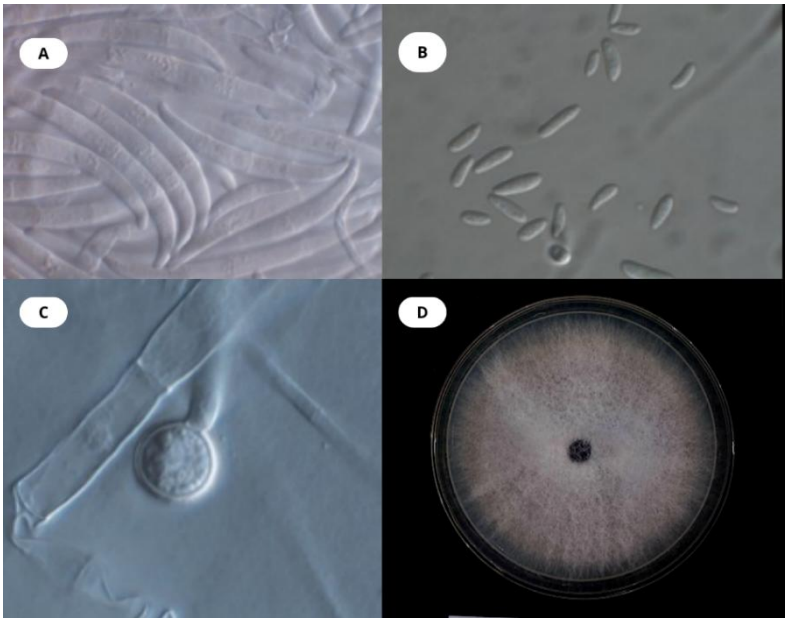
2.2.1 Murcha de *Fusarium* em maracujazeiro

O gênero *Fusarium* pertence ao Reino Fungi, ao filo Ascomycota, a classe Sordariomycetes, a ordem *Hipocreales* e a família Nectriaceae. É considerado um dos gêneros mais importantes para a fitopatologia por ser patógeno que acomete diversas culturas agrícolas

economicamente importantes e por ser encontrado em diferentes regiões geográficas (Crous *et al.,* 2021). Uma das principais espécies desse gênero corresponde ao complexo *Fusarium oxysporum,* devido a grande quantidade de hospedeiros suscetíveis e a ampla disseminação desse patógeno (Catarino *et al.,* 2018).

O *Fusarium oxysporum* (Fig. 2.D) é um fungo assexual e saprofítico (Tuarez *et al.,* 2024). A identificação a nível de gênero é baseada nas estruturas reprodutivas caracterizados por esporos assexuados chamados de microconídios (Fig. 2.B), macroconídios (Fig. 2.A) e clamidósporos (Fig. 2.C). Os microconídios são hialinos, unicelulares e formados em cabeças falsas de monofiálides curtas, os macroconídios são hialinos, multicelulares e apresentam até quatro septos, e os clamidósporos são esféricos, podendo ser encontrados nas extremidades dos conidióforos ou intercalados nas hifas e correspondem a uma estrutura de resistência, que contribui para a sobrevivência do patógeno em condições adversas e ao seu desenvolvimento em condições favoráveis (Fourie *et al.,* 2011; Batista; Barbosa, 2018).

Figura 2 —Estruturas vegetativas e reprodutivas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. A) macroconídios, B) microconídos, C) clamidósporo e D) micélio fúngico.



Fonte: A, B e C: Thangaval *et al*., 2021; D: Elaborado pela autora (2025).

Algumas espécies de *Fusarium*, como às pertencentes ao *F. oxysporum*, apresentam *formae speciales* (f. sp.), que representam isolados da mesma espécie capazes de infectar hospedeiros específicos, apresentando variação na patogenicidade, como por exemplo *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*), *F. oxysporum* f. sp. *psidii*, *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum* (*Fov*), *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* (*Fop*), que

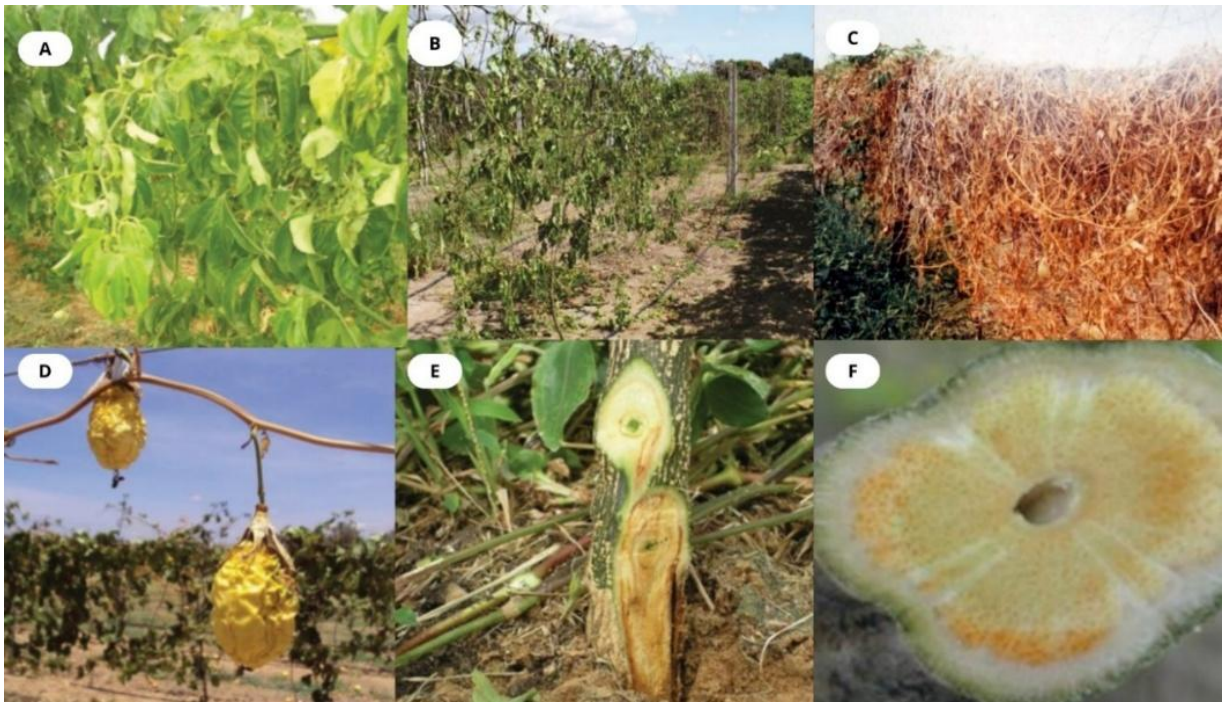
infectam especificadamente a bananeira (*Musa* spp.), a goiabeira (*Psidium guajava* L.), o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) e o maracujazeiro (*P. edulis*), respectivamente (Catarino *et al*., 2018; Lucas *et al.,* 2023).

O *Fop* corresponde ao agente causal da murcha do maracujazeiro, considerada uma das principais doença da cultura por provocar morte de até 90% das plantas e por reduzir a vida útil do pomar devido a estrutura de resistência do patógeno, chamada de clamidósporos, que permite sua sobrevivência no solo, em condições adversas, incluindo a ausência do hospedeiro, por longos períodos (Pires *et al.,* 2022). O primeiro relato dessa doença foi em 1941 no estado de Queesland da Austrália em plantas de maracujazeiro amarelo. Já no Brasil ocorreu no estado de São Paulo em 1968 também em plantas de maracujazeiro amarelo (Batista; Barbosa, 2018).

O patógeno penetra inicialmente no sistema radicular da planta por meio de aberturas naturais, como a emissão de raízes adventícias, ou ferimentos causados por implementos agrícolas ou nematoides. Posteriormente, colonizam o tecido do xilema a partir do desenvolvimento das hifas, em que produzem suas estruturas reprodutivas em condições favoráveis, principalmente microconídios, e liberam toxinas, como o ácido fusárico e licomarasmina, enzimas, como a oxidase, e metabólicos que contribuem para a obstrução e escurecimentos dos feixes vasculares, apresentando coloração alaranjada a ferruginosa (Batista; Barbosa, 2018; Lima *et al.,* 2019; Pires *et al.,* 2022).

Outro fator que contribui para a obstrução dos feixes vasculares consiste na reação de defesa da planta com a formação de tiloses. Desse modo, a colonização do xilema pelo patógeno interfere de forma significativa na translocação da seiva bruta para a parte aérea da planta, em alterações no metabolismo e na fotossíntese devido a redução da síntese de clorofila, provocando sintomas iniciais de amarelecimento em folhas novas e em estágios mais avançados da doença, os sintomas são de murcha, desfolha, escurecimento dos feixes e a morte da planta (Batista; Barbosa, 2018; Lima *et al*., 2019; Vieira *et al.,* 2022).

Figura 3 — Sintomas da murcha de *Fusarium.* A) amarelecimento, B) murcha, C) morte da planta, D) frutos deformados e murchos, E e F) escurecimento dos feixes vasculares.



Fonte: A, C, D e E: Batista; Barbosa (2020), B e F: Laranjeira (2018).

As condições favoráveis para o desenvolvimento da doença no campo ocorrem em altas temperaturas e umidade, principalmente na fase reprodutiva associada ao déficit hídrico, pH ácido e solos mal drenados. A disseminação do patógeno pode ser por meio do contato de raízes infectadas com sadias, mudas infectadas, maquinários e implementos agrícolas, ferramentas, e água de irrigação ou chuva. Quando o patógeno se encontra na ausência do hospedeiro, em condição desfavorável ou após a morte da planta, o *Fop* produz os clamidósporos que permitem a sobrevivência no solo por até 20 anos (Laranjeira *et al.,* 2018; Lima *et al*., 2019).

A germinação dos clamidósporos e o crescimento do tubo germinativo é provocada a partir da liberação dos exsudatos, como açúcares e aminoácidos, pela raiz da planta hospedeira. Posteriormente, o fungo se desenvolve devido ao hábito saprofítico e iniciar o processo de infecção, que após a morte da planta, ocorre a liberação dos clamidósporos e acúmulo no solo (Batista; Barbosa, 2018; Laranjeira *et al*., 2018). Desse modo, o controle desse patógeno é considerado complexo e o cultivo em áreas onde existe histórico da doença pode inviabilizar a produção (Vieira *et al*., 2022).

2.3 MÉTODOS DE MANEJO PARA MURCHA DE *Fusarium*

As principais formas de manejo da doença consistem na integração de métodos culturais e genéticos devido a estrutura de resistência de *Fop*. O uso de métodos individuais para o controle da murcha de *Fusarium* tem apresentado resultados inferiores ao esperado. Dessa forma, o manejo integrado tem sido mais recomendado e consiste na junção de métodos culturais, físicos, biológicos, genéticos e químicos para prevenir ou reduzir a intensidade da doença (Laranjeira *et al.,* 2018).

O controle cultural contribui para prevenção ao estabelecimento de uma epidemia por realizar cuidados pré-plantio e modificações no ambiente (Peruch; Colariccio; Batista, 2018) por meio de práticas como uso de solarização em áreas infectadas, correção da acidez, realizar manejo de nematoides, rotação de cultura após o período de produção, evitar solos mal drenados e encharcamento, uso de mudas sadias e certificadas, e evitar plantio em áreas com histórico da doença. Também recomenda-se evitar ferimentos nas raízes, realizar o monitoramento da área de cultivo para remover e queimar plantas doentes (Batista; Barbosa, 2018).

A melhor estratégia para o manejo da murcha de *Fusarium* do maracujazeiro consiste no controle genético utilizando cultivares resistentes, no entanto as disponíveis limitam-se apenas para uso como porta-enxerto por não ter características do fruto desejáveis pelos consumidores, sendo esse método considerado como uma alternativa para realizar o manejo. Diversos estudos comprovam a eficácia da enxertia do maracujazeiro amarelo com espécies selvagens como a *P. alata* (maracujá-doce) e *P. nitida* (maracujá-de-cheiro) (Carvalho *et al.,* 2020; Ferreira *et al.,* 2023). No entanto, esse método onera a produção devido ao custo de obtenção dos enxertos e ao baixo vigor em algumas situações com alta variabilidade genética das espécies e a não adaptação a região de cultivo (Laranjeira *et al.,* 2018).

Não existem fungicidas eficazes para controle dessa doença assim como não existem produtos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Assim, é de grande a importância a necessidade de se estudar novos métodos de manejo para a murcha de *Fusarium* do maracujazeiro amarelo devido à grande complexidade etiológica e relevância da cultura para o eixo econômico e social. Com isso, em áreas infectadas recomenda-se um controle paliativo (Vieira *et al*., 2022) como o controle biológico (Monnerat *et al*., 2020).

2.3.1 Controle Biológico

Diante da necessidade do uso de práticas mais sustentáveis para o controle de pragas e doenças devido aos diversos impactos negativos gerados pela utilização intensiva de fungicidas,

como a contaminação do solo e da água, problemas à saúde humana e animal, além da pressão de seleção de fitopatógenos (Ferreira *et al*., 2020), o controle biológico surge como alternativa segura e viável para realizar o manejo fitossanitário de culturas agrícolas (Monnerat *et al*., 2020). O controle biológico de fitopatógenos também é indicado para patógenos de solo devido aos mecanismos de ação dos antagonistas e ao método de aplicação variável, podendo ser no solo, sementes ou propágulos vegetativos (Quevedo *et al*., 2023).

O termo "controle biológico" foi utilizado primeiramente por Harry Scott Smith no ano de 1919 e foi definido como uso de organismos, excluindo-se o homem, que promovam a redução do inóculo ou das atividades do patógeno para o desenvolvimento de uma doença visando suprimir a população do patógeno para reduzir sua agressividade. Desse modo, os agentes de biocontrole devem ser específicos às pragas-alvo, adaptados às condições encontradas e ter capacidade de sobrevivência em condições adversas. Os principais agentes utilizados são fungos e bactérias, principalmente dos gêneros *Trichoderma* e *Bacillus*, respectivamente, mas também podem ser utilizados vírus e protozoários como antagonistas (Coelho *et al*., 2018; Barbosa *et al.*, 2021).

2.3.1.1. Gênero *Trichoderma.*

Pertencente ao filo Ascomycota, o gênero *Trichoderma* é composto por fungos filamentosos, em sua maioria assexuados, possuindo mais de 300 espécies caracterizadas, apresentando *T. harzianum, T. viride, T. asperellum* e *T. virens* como os principais antagonistas. É considerado um dos principais agentes de biocontrole utilizados atualmente na indústria de biológicos, principalmente para controle de fitopatógenos, devido aos diversos mecanismos de ação e características do fungo. O primeiro relato de *Trichoderma* como antagonista ocorreu na década de 30 por meio da ação micoparasita contra *Rhizoctonia solani* em um estudo desenvolvido por Weindling na cultura do algodoeiro (Kumar *et al*., 2023; Sarzia *et al.,* 2024).

Os fungos do gênero *Trichoderma* são considerados fungos cosmopolitas e saprofíticos, sendo possível encontrar espécies em diversos ambientes e solos, possuem rápido crescimento, adaptação as condições encontradas e tolerância a espécies reativas de oxigênio (EROs), que são produzidas pelas plantas como mecanismo de defesa, fazendo com que o antagonista tenha a colonização do fungo na rizosfera (Monte; Bettiol; Hermosa, 2019; Kumar *et al*., 2023). A grande utilização desse gênero na agricultura é devido ao controle de diversos fitopatógenos juntamente com o efeito bioestimulante e por apresentarem diferentes mecanismos de ação

como micoparasitismo, antiobiose, competição e indução de resistência (Monte; Bettiol; Hermosa, 2019; Ceiro-Catasú *et al.,* 2021).

O micoparasitismo é um dos principais mecanismos utilizados pelo gênero *Trichoderma*, onde o fungo antagonista apresenta a capacidade de parasitar outro fungo seguindo as fases de percepção e quimiotaxia da presa, adesão, enrolamento, penetração e degradação da parede celular por meio da produção de enzimas hidrolíticas, como as quitinase, β-1,3-glucanase e celulase, contribuindo também para inibição do crescimento de hifas, germinação de esporos e desenvolvimento das estruturas de resistência de diversos fitopatógenos. Patógenos radiculares como *Fusarium* spp.*, Phytophthora* spp.*, Rhizoctonia* spp.*, Sclerotinia* spp.*, Macrophomina* spp.*, Pythium* spp. são diretamente influenciados pelo antagonismo de *Trichoderma*, podendo provocar até a morte (Tyskiewicz *et al*., 2022; Kumar *et al*., 2023).

A antiobiose corresponde a secreção de metabólitos secundários, que podem ser voláteis e não-voláteis, como os terpernos, pironas, poliquetídios, onde interferem de forma negativa no desenvolvimento do fitopatógeno, inibindo seu crescimento ou reprodução (Kumar *et al*., 2023). Existem mais de 200 metabólitos secundários relatados com efeito antimicrobiano e atuam juntamente com as enzimas hidrolíticas promovendo a degradação da parede celular e morte, contribuindo com o potencial de biocontrole (Monte; Bettiol; Hermosa, 2019).

A atividade antimicrobiana dos metabólitos secretados por *Trichoderma* tem sido relatada na literatura, principalmente em fungos do gênero *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia* spp. (Monte; Bettiol; Hermosa, 2019). Deng *et al.*, (2018) observaram que *T. harzianum* inibiu o crescimento micelial e a germinação dos esporos de *Botrytis cinerea*, sendo comprovado a degradação da parede celular do patógeno pela protease. Gárcia (2016) relatou que as cepas de *T. harzianum e T. viride* promoveram inibição do crescimento de *Fusarium* spp. e *Colletotrichum coccodes* isolados de babosa (*Aloe vera* (L.) Burm) e mirtilo (*Vaccinium corymbosum* Lassim). Duarte-Leal *et al.,* (2018) evidenciaram que *T. asperellum* reduziu o crescimento de *F. dlaminii* e *F. solani,* isolados de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em 41% e mais de 48%, respectivamente.

O mecanismo de competição corresponde aos organismos que competem entre si por recursos, podendo ser por nutrientes, oxigênio ou espaço. As características de adaptação, colonização da planta e crescimento do gênero contribuem para um potencial competidor. Além disso, são capazes de produzir sideróforos, que, em condições de deficiência, realizam a captura de íons de ferro (Fe^{3+}), aumentando a solubilização e sua disponibilidade para as plantas e para o fungo, e estruturas de resistência, contribuindo para a sobrevivência em condições

adversas *(*Kumar *et al.* 2023). Alguns estudos relatam que *Trichoderma* é capaz de competir com fitopatógenos (Oszuk *et al.*, 2020) e que *T. harzianum* reduziu nutrientes e espaço para *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* (Wozniak *et al*., 2019).

A indução de resistência em plantas corresponde a um mecanismo que afeta os fitopatógenos de forma indireta, uma vez que o organismo antagônico é capaz de induzir mecanismos de defesa em plantas, sendo considerado elicitor, promovendo mudanças bioquímicas e estruturais nas plantas, como a produção de proteínas relacionadas a patogênese (RP), síntese de fitoalexinas, lignificação, entre outros, contribuindo com a defesa da planta e impedindo a colonização de fitopatógenos (Tyskiewicz *et al*., 2022).

Além disso, *Trichoderma* tem sido explorado no tratamento de sementes, uma vez que a qualidade sanitária é um dos principais fatores que interferem na produção das culturas e corresponde a um método sustentável (Nobrega *et al.,* 2020). Estudos evidenciaram que *Trichoderma* foi capaz de controlar a murcha de *Fusarium* causado por *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* pelo tratamento de sementes de tomateiro (*S. lycopersicum)* com *T. viride* e *T. harzianum* (Jamil *et al.,* 2021) assim como o tratamento de sementes de grão de bico (*Cicer arietinum* L.) com *T. harzianum e T. longibrachiatum* promoveram redução em mais de 50% da murcha de *F. oxysporum* f. sp. *ciceris* (Younesi *et al*., 2021).

Outros estudos comprovaram a eficácia do tratamento de sementes utilizando fungos do gênero *Trichoderma* no controle de *Macrophomina phaseolina* e redução da severidade da podridão cinzenta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) (Sarzia *et al.,* 2024), controle de *Fusarium oxysporum* em sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil) (Quevedo *et al.,* 2023), controle de *Rhizoctonia solani* (Silva *et al*., 2019), redução da incidência de fungos em sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp**.)** (Cruz *et al.,* 2022), de *Aspergillus nigeri* em sementes de aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) (Moura *et al*., 2022).

2.3.1.2. Gênero *Bacillus spp.*

O gênero *Bacillus* spp. pertence ao filo *Bacillota* e a família Bacillaceae, são bactérias do tipo Gram-positivas, apresentam formato de bastonete e são do tipo anaeróbicas facultativas ou aeróbicas. São capazes de colonizar raízes de diferentes espécies de plantas assim como habitam o solo, possuem rápido crescimento, devido a produção de uma variedade de enzimas que são capazes de degradar diferentes substratos, além da capacidade de formarem endósporos e sideróforos, que correspondem a estruturas de resistência e um mecanismo de captação e

solubilização do ferro presente no solo, respectivamente (Monnerat *et al.,* 2020; Etesami *et al.,* 2023).

As principais espécies desse gênero correspondem a *B. subtillis, B. amyloliquefaciens, B. thuringiensis, B. velezensis e B. cereus* devido ao destaque no mercado de produtos biológicos, proporcionado pelas suas características gerais, capacidade promover crescimento dos órgãos vegetais e eficácia no controle de vários fitopatógenos. Assim apresenta a versatilidade de aplicação, pode ser por sementes ou no solo, e aos diferentes mecanismos antagônicos como de competição, antibiose e indução de resistência (Jiang *et al.,* 2024).

A antibiose é um dos principais mecanismos promovidos pelas bactérias do gênero *Bacillus* spp. devido a liberação de metabólicos secundários, voláteis ou não, e enzimas com propriedades antimicrobianas. Os metabólicos não voláteis que afetam principalmente fungos são os lipopetídeos cíclicos, sintetizados de forma não rissobômica, e são compostos pelos antibióticos das famílias surfactinas, iturinas e fengicina, que promovem alterações na estrutura dos fungos, como danificação da hifa e dos conídios, devido a formação de poros na membrana plásticas dos patógenos, levando a morte (Etesami *et al.,* 2023).

Os ativos das famílias iturina e fengicina são comumente relatados contra patógenos fúngicos como o *Fusarium* spp devido ação fungistática ou fungicida (Melo *et al.,* 2021). Salazar *et al*., (2017) evidenciaram que a fengicina, isolada de *B. amyloliquefaciens* contribuiu com redução do crescimento micelial de *F. oxysporum*. Rodrigues *et al.* (2025) relataram que *Bacillus* spp. reduziu o crescimento de *F. oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*. Abreu *et al*. (2022) descrevem que a produção desses ativos pode ser induzida devido pela presença do fitopatógeno, provocando alterações na permeabilidade e estrutura da membrana plasmática podendo ocasionar em morte celular.

Os metabólitos secundários voláteis, representados por 2-nonanona, 2-undecanona, benzaldeído, também contribuem com propriedade antifúngica, podendo ser compostos por álcoois, aldeídos, ácidos, terpenos, entre outros., que promovem a inibição ou redução do crescimento e germinação de esporos assim como afetar o desenvolvimento do micélio. Assim *Bacillus* spp. também pode secretar enzimas líticas, como as proteases, quitinases, glucanases, que realizam a degradação da parede celular fúngica formada por proteínas, quitinas e glucanos retirando a camada de proteção ocasionando a morte do patógeno (Ajuna *et al,* 2023).

O mecanismo de competição por *Bacillus* sp. contribui de forma significativa para a colonização da rizosfera das plantas e para redução de fitopatógenos, uma vez que ao colonizarem o órgão promove a formação de biofilmes, que atuam como uma barreira devido a composição de compostos com propriedades antimicrobianas, como a surfactina, e auxilia na

resistência do antagonista. Além disso, devido ao rápido crescimento, ocorre o consumo dos exsudatos do sistema radicular e ainda produzem sideróforos, promovendo redução de nutrientes e espaços disponíveis para os patógenos e, consequentemente, proteção das plantas (Etesami *et al.,* 2023; Zhan *et al.,* 2023).

De acordo Raza *et al.,* (2016) os metabólitos secundários voláteis, 2-nonanona e 2-undecanona, apresentaram propriedade antimicrobiana contra *Ralstonia solanacearum*, isolada de plantas de tomateiro (*S. lycopersicum)*. Ghasemi *et al.,* (2010) descreveram que a enzima quitinase, produzida por várias espécies de *Bacillus* spp., foi capaz de reduzir o crescimento de patógenos *in vitro* como *F. oxysporum, F. graminearum, Botrytis cinerea, R. solani*, obtidos de coleção de isolados.

As bactérias do gênero *Bacillus* spp. podem promover a ativação da resistência sistêmica induzida (ISR) em resposta a microrganismos rizosféricos e seus metabólicos, que se diferencia da resistência sistêmica adquirida (SAR) devido a ativação ser por organismos patogênicos. Desse modo, a ISR promove uma sinalização para a célula da planta e uma cascata de reações que culminam na ativação da defesa da planta como a lignificação da parede celular, produção de papilas, aumento de enzimas como fenilalanina amônia-liase, peroxidase e liberação de compostos fenólicos (Melo *et al.,* 2021; Etesami *et al.,* 2023).

Diante dos mecanismos promovidos por *Bacillus* spp., esse gênero tem sua comprovação e a eficácia no tratamento de sementes para controle de alguns patógenos aprovada. Como exemplo, tem-se *F. verticillioides* no tratamento de sementes de milho (*Zea mays* L.) (Ferreira *et al*., 2021) assim como *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp. e *Cercospora* spp. no tratamento de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merr.*)* com uma associação de duas bactérias do gênero *Bacillus* spp. (Souza *et al.,* 2025).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no Laboratório de Fitopatologia (LAFIT) localizado no Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia-PB.

3.2 OBTENÇÃO DO ISOLADO DE *Fusarium* spp.

O isolado de *Fusarium* spp. foi obtido a partir do isolamento indireto de plântulas de maracujazeiro selvagem (*Passiflora foetida* L.) com sintomas de escurecimento dos feixes vasculares e murcha, obtidas em viveiro localizado na cidade de Areia-PB.

As plântulas foram lavadas com água corrente e detergente neutro, em seguida, colocadas em papel toalha em temperatura ambiente para secar. Com auxílio de uma lâmina de bisturi foi realizado o corte na região do colo para obtenção de fragmentos, em que foram imersos em álcool 70% por 30 segundos, em uma solução de hipoclorito de sódio a 0,1% por 60 segundos e duplo enxágue com ADE. Os fragmentos desinfestados foram transferidos para placas contendo meio de cultura com batata-dextrose-ágar (BDA) e armazenados a 25 °C por 7 dias (Alfenas e Mafia, 2016) para crescimento do patógeno, na sequência foi realizada a identificação e repicagem para obtenção da colônia pura. Para utilização no experimento, o patógeno foi repicado em meio batata-dextrose-ágar (BDA) nas condições anteriormente descritas e sua identificação ocorreu por meio da microscopia óptica a partir de suas estruturas reprodutivas e comparação com a literatura especializada (Menezes, 1993; Seifert *et al*., 2011).

3.3 CONTROLE *IN VITRO* DE *Fusarium* spp.

Para o controle *in vitro* de *Fusarium* spp. foram utilizados os seguintes tratamentos descritos na Tabela 1, estabelecidos de acordo com a dose recomendada pelo fabricante.

Tabela 1 — Produtos utilizados no controle *in vitro* e no tratamento de sementes para controle da murcha de *Fusarium* do maracujazeiro.

Tratamentos	Composição	Dose
T1 - ADE	Água Destilada Esterilizada	0
T2 - BT-Turbo Max®	*Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* HD -1	1,33mL/200mL
T3 - Bioimune®	*Bacillus velezensis* BV09	5,33 mL/200mL
T4 - Biobaci®	*Bacillus subtilis* BV09	2,67 mL/200mL
T5 – Tricho-turbo®	*Trichoderma asperellum* BV10	0,00267mL/200mL

T6- Trichoagro®	*Trichoderma viride* IBLF 1275 e IBLF 1276 e *T. harzianum* IBLF 1278 e 1282	1,87g/200mL

Fonte: Elaborado pela autora, 2025

3.3.1 Crescimento micelial

Para analisar o efeito dos tratamentos sobre o crescimento micelial do patógeno, os produtos comerciais foram adicionados em meio BDA, sendo distribuídos em placas de Petri. Após a solidificação do meio, um disco com 5 mm da colônia de *Fusarium* spp. foi adicionado ao centro de cada placa. As placas foram mantidas em *Biological Oxygen Demand* (B.O.D) em temperatura de 25 ± 2 °C, sob fotoperíodo de 12 horas e as avaliações foram realizadas diariamente com auxílio de uma régua graduada em centímetros até o fungo atingir toda placa de Petri (90x150mm), atingindo no sétimo dia, para obter as varíaveis de diâmetro da colônia (DC), área abaixo da curva de crescimento micelial (AACCM) e a inibição do crescimento micelial (ICM).

Com os dados do diâmetro da colônia, calculou-se a Área sob a curva de crescimento micelial, conforme a fórmula descrita por Shaner; Finney (1977), AACCM = Σ [(y1 + y2) / 2* (t2 -t1)], onde y1 e y2 são as dimensões da colônia em duas direções ortogonais e ti+1- ti, são os intervalos entre as avaliações

Em seguida, foi calculado a inibição do crescimento micelial (ICM), conforme Al-Reza et al. (2010), sendo usada a seguinte fórmula: ICM = (diâmetro da testemunha – diâmetro do tratamento) / (diâmetro da testemunha) x 100.

3.3.2 Esporulação

A esporulação foi quantificada no sétimo dia a partir da suspensão de esporos. Foi adicionado 10 mL de ADE nas placas de Petri, sendo homogeneizados superficialmente, com auxílio de pincel de cerdas macias para liberação dos esporos e realizada uma filtragem em dupla camada de gaze esterilizada. Foi adicionada uma gota na câmara de Neubauer para realizar a quantificação dos conídios de *Fusarium* spp., com visualização em microscópio óptico. As variáveis analisadas foram a produção de esporos (PE) e a inibição da produção de esporos (IPE).

Com os dados da produção de esporos, foi calculada a inibição da produção de esporos (IPE), conforme Al-Reza et al. (2010), sendo usada a seguinte fórmula: IPE = (Esporulação da testemunha – esporulação do tratamento) / (esporulação da testemunha) x 100.

3.4 EXPERIMENTO *IN VIVO* DE *Fusarium* spp.

3.4.1 Obtenção das sementes de maracujazeiro

As sementes de maracujazeiro amarelo foram obtidas de frutos cv. Redondo Amarelo, adquiridos de produtores familiares, da comunidade Sítio Mazagão, localizado na zona rural do município de Areia-PB. Os frutos foram selecionados, lavados, cortados ao meio e as sementes foram extraídas da mucilagem com auxílio de uma peneira de alumínio, por meio de atrito. Posteriormente, as sementes foram lavadas e secas à temperatura ambiente de ±25 °C por dois dias, sobre papel toalha, e armazenadas à ± 4 °C em embalagens plásticas de garrafa Pet.

3.4.2 Controle *in vivo* de *Fusarium* spp. pela microbiolização de sementes

Para realizar o controle de *Fusarium* spp., as sementes foram desinfestadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 1% por um minuto, submetidas a três enxágues com ADE e dispostas em papel filtro esterilizado para secar, em temperatura de 25 ± 2 °C. Em seguida, as sementes foram imersas nos tratamentos descritos na Tabela 1, por cinco minutos.

Após a aplicação dos tratamentos, as sementes foram dispostas em placas de Petri com papel filtro esterilizado e armazenadas em B.O.D à 25±2 °C e fotoperíodo de 12 horas por 24 horas. Posteriormente, ocorreu a semeadura em casa de vegetação, distribuindo 5 sementes por vaso de polietileno, com capacidade de 1 L, contendo substrato comercial Mecplant®, sendo irrigadas diariamente até a conclusão do experimento.

O desbaste das plantas foi realizado no 27° dia após a semeadura, permanecendo a planta mais vigorosa. A inoculação com *Fusarium* spp. ocorreu a partir do surgimento do segundo par de folhas verdadeiras, correspondendo ao 31° dia após semeadura seguindo o método de inoculação por "meia lua" (Silva *et al*., 2011). Esse método consiste em realizar uma lesão de 2 cm nas raízes superficiais da planta com auxílio de um bisturi e adicionar 20 mL da suspensão de esporos de *Fusarium* spp. A suspensão foi ajustada a $1x10^5$ esporos/mL. As plantas inoculadas permaneceram em casa de vegetação por 30 dias, sendo irrigadas diariamente.

3.4.1 Análises Fisiológicas e Morfológicas

Após 30 dias da inoculação, foi realizada a avaliação dos índices de clorofila Falker a, b e total utilizando um clorofilômetro portátil (ClorfiLOG®, modelo CFL 1030), a Fluorescência da clorofila *a* usando um fluorímetro modulado portátil (Sciences Inc.- Model OS-30p, Hudson, USA) para avaliar a fluorescência inicial (F0), a fluorescência máxima (Fm)

e a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm). Também foram avaliadas as trocas gasosas com as variáveis: taxa de assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (Ci), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EiC) usando um analisador de gases infravermelho (IRGA, modelo LI-6400XT LI-COR®, Nebrasca, USA), no período da manhã, das 08:00 às 12:00.

O comprimento da parte aérea e da raiz foram avaliados com auxílio de uma régua graduada em centímetros, o diâmetro do caule com um paquímetro digital e o volume da raiz a partir da imersão da raiz em uma proveta volumétrica com um volume de água conhecido, utilizando o princípio de Arquimedes. Também foi analisado o teor de massa seca da raiz e da parte aérea a partir do método da estufa à 65 °C por 72h, em que o material vegetal foi colocado em sacos de papel Kraft e secos na estufa.

3.4.2 Taxa de infecção (TI)

A taxa de infecção de *Fusarium* spp. foi realizada aos 31 dias após a semeadura a partir do isolamento indireto das plantas de maracujazeiro amarelo tratadas. Foram retirados fragmentos de 1mm da área do colo utilizando bisturi estéril. Os fragmentos foram desinfestados em uma solução de álcool 70% por 30 segundos, em seguida, a uma solução de hipoclorito de sódio a 1% por um minuto finalizando com duplo enxágue em ADE.

Os fragmentos desinfestados foram incubados em placas de Petri contendo meio BDA e armazenados por sete dias em temperatura controlada de 25 ± 2 °C. Para confirmar a presença do *Fusarium* spp., foi realizada a observação das estruturas fúngicas em microscópio óptico e quantificado a quantidade de discos que apresentava o crescimento micelial do patógeno para obter a TI.

A TI foi obtida considerando-se o número de fragmentos com crescimento micelial em função do número de plantas avaliadas de acordo com a fórmula proposta por Mckinney (1923):

$$\text{Taxa de infecção (TI)} = \frac{\text{Número de plantas infectadas}}{\text{Número total de plantas avaliadas}} \times 100$$

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado para o teste *in vitro*, utilizando-se cinco repetições, sendo cada unidade experimental composta por duas placas de

Petri. Para o teste *in vivo* os tratamentos foram dispostos em quatro blocos ao acaso com três repetições contendo uma planta cada vaso.

As análises estatísticas foram realizadas no software R® (R Core Team, 2024) e os resultados submetidos aos testes de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Bartlett's).

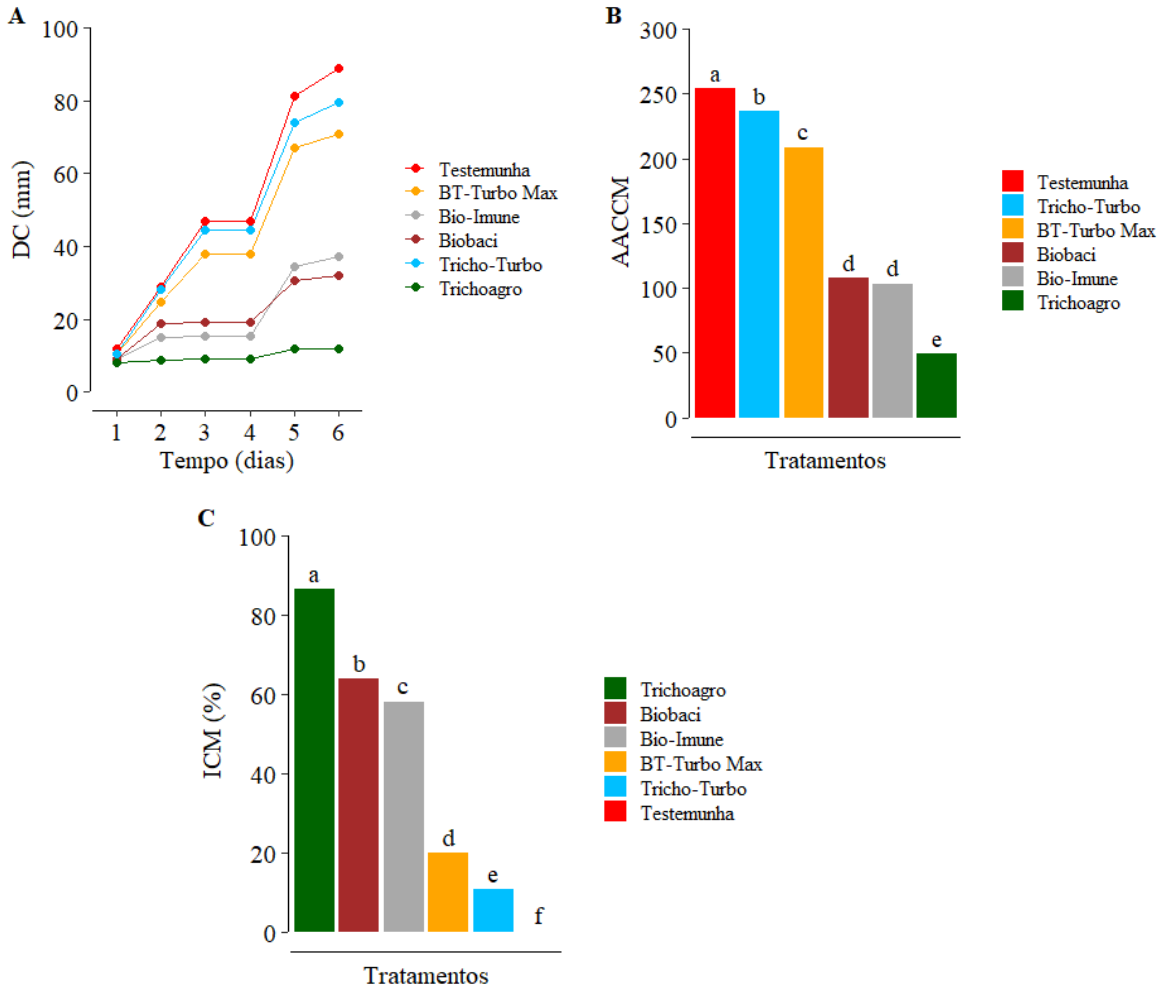
Os dados que atenderam aos pressupostos para análise paramétrica foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$) com as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Aqueles que não atenderam aos pressupostos para análise paramétrica foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$) com as medianas comparadas pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$) utilizando o ajuste do p-valor por Bonferroni.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONTROLE *in vitro* DE *Fusarium* spp.

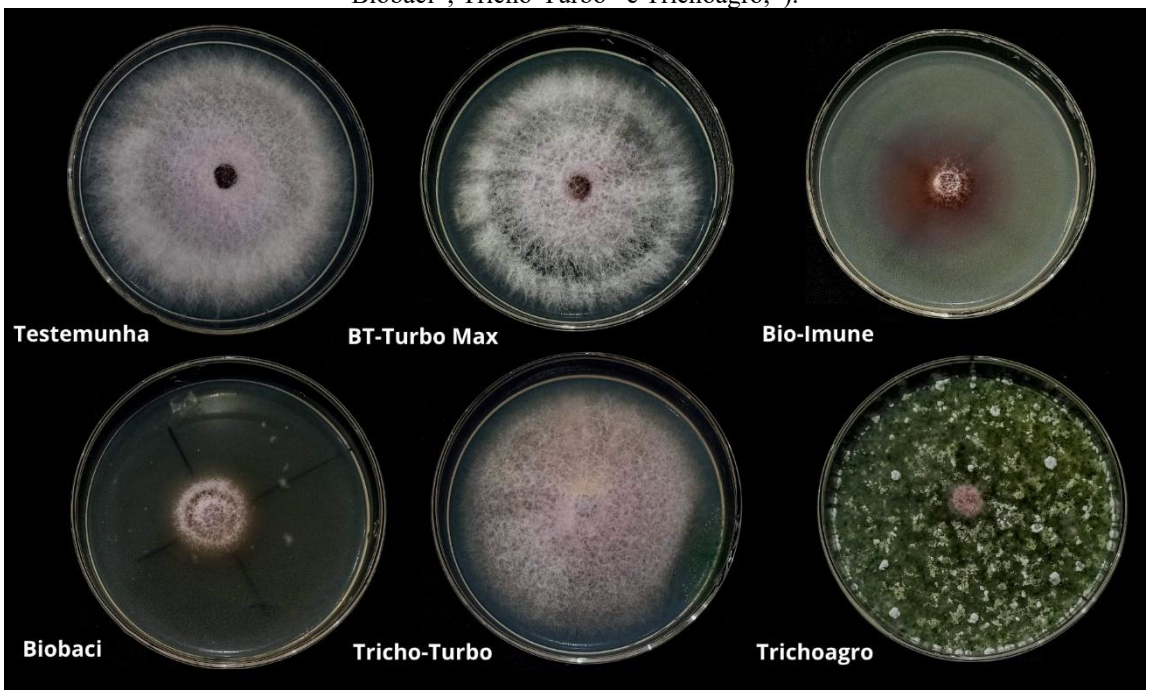
Na avaliação *in vitro* do desenvolvimento de *Fusarium* spp. sobre a influência de diferentes produtos biológicos, todos os tratamentos contribuíram para a redução do crescimento micelial do fungo, sendo superiores à testemunha (ADE) (Gráfico 1 e Figura 4). O tratamento de maior eficiência corresponde ao Trichoagro® por apresentar uma estabilidade no diâmetro da colônia do patógeno observada a partir do segundo dia (Gráfico 1.A) resultando em uma a menor área abaixo da curva de crescimento micelial (AACCM) (Gráfico 1.B) e redução de 83% do crescimento micelial (Gráfico 1.C), possivelmente induzido por mecanismos como parasitismo, antibiose e competição do antagonista *versus* patógeno.

Gráfico 1 — Eficiência de produtos biológicos à base de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) sobre *Fusarium* spp. em condições *in vitro*. A) diâmetro da colônia (DC), B) área abaixo da curva de crescimento micelial (AACCM), C) inibição do crescimento micelial (ICM).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$) .Fonte: Elaborado pela Autora (2025)

Figura 4 — Crescimento micelial de *Fusarium* spp., isolado do maracujazeiro amarelo em meio BDA, com produtos biológicos formulados a partir de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro,®).



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Resultados semelhantes foram observados por Catasú-Ceiro *et al.* (2021) que avaliaram a influência de diferentes cepas de *Trichoderma viride* e *T. harzianum* sobre diferentes cepas de *F. oxysporum*, apresentando 57,22% de inibição do crescimento micelial do fitopatógeno no sétimo dia. Tais resultados evidenciam o benefício do sinergismo dessas duas espécies antagonistas sobre *Fusarium* devido a intensa atividade micoparasita. Silva *et al.* (2024) afirmaram que utilizar mais de um agente de biocontrole aumenta a estabilidade e intensificação dos mecanismos como parasitismo, antibiose e competição.

Fungos do gênero *Trichoderma* secretam enzimas hidrolíticas, como as proteases, quitinases e glucanases, que promovem a lise da parede celular das hifas de *Fusarium spp*. facilitando a penetração e colonização do patógeno, configurando-se no mecanismo de parasitismo que contribui com a redução do crescimento micelial (Rubio-Tinajero *et al*., 2021). Além disso, pode ocorrer também a liberação de metabólitos secundários, que contribuem para a atividade antifúngica do gênero sobre vários fitopatógenos (Kumar *et al*., 2023), como *F. oxysporum* (Blaszczyk *et al*., 2014), *Botrytis cinerea, F. graminearum* e *Penicillium expansum* (Zotti *et al*., 2020).

Os tratamentos Biobaci® e Bio-imune® também reduziram a AACCM (Gráfico 1.B) em 62% e 60% do crescimento micelial, respectivamente (Gráfico 1.C). Embora inferiores estatisticamente, os resultados foram semelhantes aos observados com Trichoagro® do segundo

ao quarto dia do experimento com a estabilização do diâmetro da colônia (Gráfico 1.A), apresentando eficiência intermediária. Possivelmente, os resultados obtidos podem ter sido provocados pelas propriedades antagonistas, como a produção de enzimas líticas e ao mecanismo de antibiose, com produção de metabólitos secundários das famílias de surfactina, iturina e fengicina provocando a degradação da parede celular.

Bactérias do gênero *Bacillus* também atuam na degradação da parede celular dos fitopatógenos devido a produção de metabólitos secundários, como fengicinas, iturinas e surfactinas, causando o rompimento e morte do fungo. Também apresentam o mecanismo de competição por recursos como nutrientes e espaço, produzem compostos antibióticos e sideróforos, onde contribui para redução da disponibilidade de ferro para os fitopatógenos (Silva *et al*., 2024).

Em relação a AACCM (Gráfico 1.B), o Trichoagro® inibiu em 80% do crescimento micelial com relação à testemunha, sendo possível evidenciar maior eficácia nessa variável dentre todos os tratamentos. O Bio-imune® e o Biobaci® reduziram em 60% e não diferiram entre si estatisticamente, porém foram mais eficientes que o BT-Turbo Max® e Tricho-turbo® na redução do crescimento micelial (Gráfico 1.B). Contudo, todos os tratamentos foram superiores estatisticamente a testemunha, possivelmente relacionado aos efeitos dos metabólitos secundários associado a enzimas, contribuindo com um efeito fungistático por reduzirem o crescimento micelial sem provocar a morte de *Fusarium* spp.

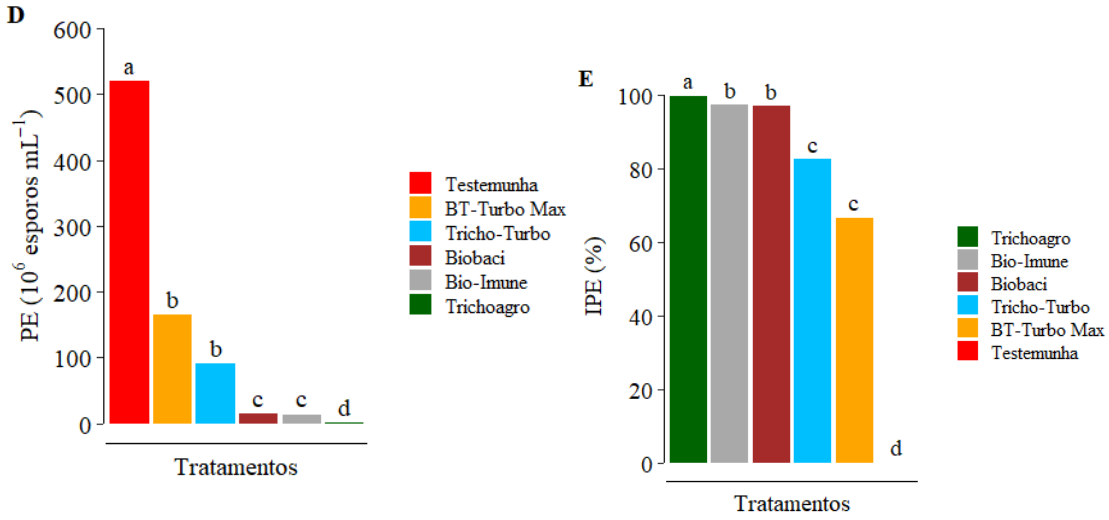
O tratamento com BT-Turbo Max® e Tricho-turbo® apresentarem menor eficiência na inibição do diâmetro da colônia, no entanto superiores à testemunha (Gráfico 1.A-B), apresentando 20% e 15% da inibição do crescimento micelial (Gráfico 1.C), respectivamente, demonstrando que mesmo inferiores aos demais tratamentos ainda promoveram algum nível de controle. Carvalho (2022) estudou a ação de diferentes espécies de *Bacillus* sobre *F. oxysporum* f. sp. *cubense* sobre o crescimento micelial e obteve como resultado uma inibição variando entre 11,64% a 72,17% da inibição do crescimento, superiores aos obtidos na presente pesquisa.

A atividade promissora do biocontrole é demonstrada em outros estudos, como a redução do crescimento micelial de 48%, *in vitro,* de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* por *T. asperellum* (Fernandes *et al*., 2021). Hurtado-Clopatosky *et al.* (2022) ao estudarem o efeito de fungos endofíticos encontrados em plantas de maracujazeiro roxo, como *T. asperellum*, sobre *F. oxysporum*, apresentou mais de 60% da inibição do crescimento micelial. Quevedo *et al* (2023) evidenciou que o *T. asperellum* contribuiu com 13,06% de inibição. Ainda que pertençam ao mesmo gênero, a variação da eficiência na ação do antagonista pode ter sido em virtude da dose, concentração e cepa utilizada.

Em relação à produção de esporos (Gráfico 2.D), todos os tratamentos apresentaram quantidade de esporos inferiores a testemunha, evidenciando o Trichoagro® como o tratamento de menor produção, sendo seguido pelos tratamentos Bio-imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e BT-Turbo Max®, respectivamente.

Enquanto na inibição da produção de esporos (Gráfico 2.E), todos os tratamentos foram eficientes na redução da esporulação de *Fusarium* spp., dando destaque ao Trichoagro®, que atingiu um percentual de 100% de inibição da produção de esporos do patógeno (Gráfico 2.E). Os tratamentos Biobaci® e Bio-imune® inibiram em mais de 95% da esporulação (Gráfico 2.E) e Tricho-turbo® e o BT-Turbo Max® reduziram a produção de esporos (Gráfico 2.E) com resultados semelhantes, contribuindo de forma significativa para redução da dispersão do patógeno.

Gráfico 2 — Eficiência de produtos biológicos (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) sobre *Fusarium* spp..isolado de maracujazeiro amarelo em condições *in vitro*. D) produção de esporos (PE) e E) inibição da produção de esporos (IPE).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Jiang *et al.* (2024) ao estudarem a atividade de *Bacillus velezensis* sobre *F. oxysporum* observaram uma inibição da germinação dos esporos em 66,7%, sendo resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo com o tratamento Bio-imune® e o Biobaci® em 98% da produção de esporos. A eficácia dos produtos biológicos à base *Bacillus* spp. podem estar associada à produção de metabólitos secundários por provocarem uma deformação nas estruturas reprodutivas e vegetativas ocasionada pela natureza anfipática dos metabólitos, que desestabilizam as membranas celulares, podendo reduzir ou inibir o crescimento micelial de patógenos e a formação de seus esporos (Assena; Pfannstiel; Rasche, 2024).

Ao estudarem o efeito dos compostos orgânicos voláteis de *Trichoderma koningiopsis* T-51 sobre *F. oxysporum*, You *et al.* (2022) comprovaram que *Trichoderma* promoveu uma redução na germinação e alongamento das hifas de *Fusarium*, resultados que corroboram com os obtidos no presente estudo, com inibição de 100% pelo Trichoagro® e de 70% pelo Tricho-Turbo®. A eficácia dos fungos do gênero *Trichoderma* na inibição e redução da esporulação pode ser provocada pela produção de metabólitos secundários voláteis e não voláteis e de enzimas, como as quitinases, que contribuem para a degradação das paredes celulares dos patógenos, onde influenciam diretamente na formação de hifas conidiogênicas, relatado por Quevedo *et al. (*2023).

Desse modo, todos os produtos utilizados na presente pesquisa foram eficazes no controle de *Fusarium* spp., com destaque para o Trichoagro®, que promoveu redução do crescimento micelial e inibição da esporulação do *Fusarium* spp. em 100%, interferindo na etapa de colonização, de reprodução e de dispersão do fitopatógeno. Os demais tratamentos, Biobaci®, Bio-imune® BT-Turbo Max® e Tricho-turbo®, também obtiveram eficácia na redução dessas variáveis, sendo superiores estatisticamente a testemunha. Esses resultados evidenciam a atividade antagonista por meio dos diferentes mecanismos dos agentes de biocontrole, *Ttrichoderma* spp. e *Bacillus* spp., como o micoparasitismo, competição e antibiose.

4.2 CONTROLE *in vivo* DE *Fusarium* spp. PELA MICROBIOLIZAÇÃO DE SEMENTES

Na avaliação da influência dos produtos biológicos no tratamento de sementes de maracujazeiro amarelo para controle de *Fusarium* spp., as variáveis biométricas de altura de planta (ALP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), comprimento (CPR), volume de raízes (VR) e massa seca (MSR) de raízes, massa seca da parte aérea (MSPA) e algumas fisiológicas, como assimilação líquida de CO2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO2 (Ci), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência instantânea da carboxilação (EiC), fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm) e a eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 2).

Contudo, os teores de clorofila a (Chla), total (Chlt) e taxa de infeção (Tabela 2) apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Esses resultados indicam que, mesmo não obtendo valores significativos, os produtos biológicos utilizados não comprometeram o crescimento vegetativo e o aparato fotossintético das plantas, sendo considerado uma alternativa segura para produção de mudas de maracujazeiro amarelo por não serem prejudiciais ao desenvolvimento das plantas.

Tabela 2 — Resumo da análise de variância para altura de planta (ALP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), comprimento de raízes (CPR), volume de raízes (VR), massa seca de raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (Ci), transpiração (E), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência instantânea da carboxilação (EiC), fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), eficiência quântica do PSII (Fv/Fm), clorofila a (Chla), b (Chlb), total (Chlt), relação clorofila a/b (Chlab) e taxa de infecção (TI) em plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims) oriundas de sementes tratadas produtos biológicos e inoculadas com *Fusarium* spp. na fase de muda.

FV	GL	Quadrados médios			
		ALP	NF	DC	CPR
Bloco	3	7,6702 ^{ns}	2,90349**	0,45383*	9,7841 ^{ns}
Tratamento	5	1,0431 ^{ns}	0,18506 ^{ns}	0,07568 ^{ns}	15,0488 ^{ns}
Resíduo	15	3,0141	0,41946	0,09987	5,6499
CV (%)		22,76	23,20	17,22	11,65
		VR	MSR	MSPA	A
Bloco	3	0,43226**	0,075849*	0,43994*	0,215890**
Tratamento	5	0,18909 ^{ns}	0,013362 ^{ns}	0,11087 ^{ns}	0,042962 ^{ns}
Resíduo	15	0,07386	0,014532	0,10722	0,031898
CV (%)		25,25	36,91	47,68	9,36
		gs	Ci	E	EUA
Bloco	3	0,00103309*	27,7749*	0,289938*	0,138813 ^{ns}
Tratamento	5	0,00028710 ^{ns}	8,7557 ^{ns}	0,091689 ^{ns}	0,087370 ^{ns}
Resíduo	15	0,00025415	7,3311	0,054307	0,051698
CV (%)		1,53	16,48	13,46	13,82
		EiUA	EiC	Fo	Fm
Bloco	3	20,2051 ^{ns}	0,270067**	378,61*	2460,65*
Tratamento	5	8,8049 ^{ns}	0,060687 ^{ns}	138,87 ^{ns}	1136,77 ^{ns}
Resíduo	15	6,1602	0,035334	94,64	593,63
CV (%)		33,86	12,75	6,88	5,74
		Fv/Fm	Chla	Chlb	Chlt
Bloco	3	0,00051571 ^{ns}	0,4097 ^{ns}	0,18874 ^{ns}	1,1543 ^{ns}
Tratamento	5	0,00150764 ^{ns}	5,1737*	1,05357 ^{ns}	10,8133*
Resíduo	15	0,00114957	1,7246	0,46204	3,5615
CV (%)		5,12	5,41	17,11	6,68
		Chlab	TI		
Bloco	3	0,06655 ^{ns}	0,174 ^{ns}		
Tratamento	5	0,53520 ^{ns}	194,406**		
Resíduo	15	0,29114	0,780		
CV (%)		8,69	21,20		

ns, * e ** - Não significativo e significativo em $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$ pelo teste F, respectivamente; FV: Fontes de variação; CV: Coeficiente de variação e GL: Graus de liberdade. Fonte: Elaborado pela autora (2025)

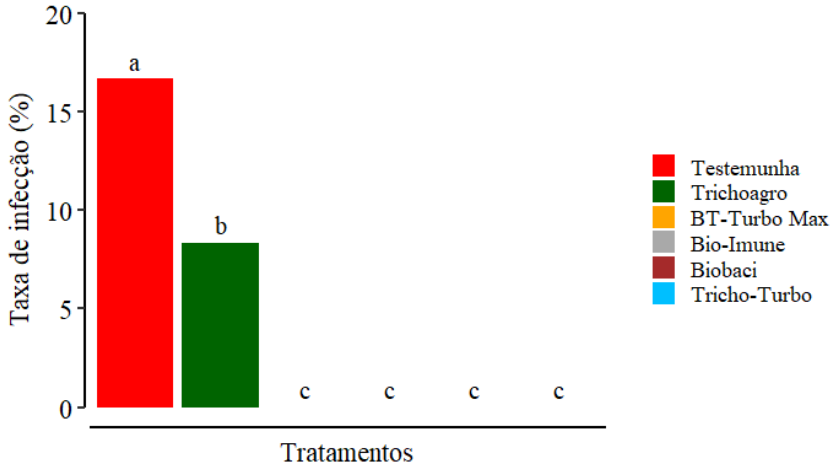
Embora não tenham sido observados sintomas como clorose, murcha, amarelecimento, morte e escurecimento dos feixes vasculares, que são característicos da murcha de *Fusarium* do maracujazeiro, a testemunha, apenas com a inoculação do *Fusarium* spp., apresentou a maior taxa de infecção dentre todos os tratamentos, com mais 15% das plantas infectadas (Gráfico 3). A ausência da incidência e severidade pode ter ocorrido devido ao método de inoculação utilizado, a agressividade do patógeno ou à necessidade de um maior período de avaliação para a manifestação dos sintomas.

Pires *et al.* (2022) afirmam que o surgimento dos sintomas de *Fop* pode depender do isolado do patógeno, visto que pode ter variabilidade na agressividade, assim como o método de inoculação utilizado. Lima *et al*. (2019) ao estudarem o método de inoculação de *Fop* por meio da inoculação do substrato com suspensão de esporos observou o surgimento dos sintomas com 60 dias de experimento com uma alta severidade com 150 dias após a inoculação.

Com relação a taxa de infecção (Gráfico 3), os tratamentos Biobaci®, Bio-imune® BT-Turbo Max® e Tricho-turbo® foram semelhantes e apresentaram maior eficácia na inibição da infecção por *Fusarium* spp. em mudas de maracujazeiro amarelo interferindo negativamente no estabelecimento da doença, em relação à testemunha. Com os resultados obtidos é possível evidenciar o efeito protetor que os produtos biológicos utilizados promoveram durante o tratamento de sementes de maracujá, possivelmente devido a atividade antagonista dos agentes e a capacidade de colonização da cepa na rizosfera da planta.

O tratamento Trichoagro® apresentou menor eficiência na redução da taxa de infecção em relação aos demais tratamentos, no entanto contribuiu significativamente com a redução da infecção em relação à testemunha, demonstrando a atividade protetora do antagonista (Gráfico 3). Entretanto, a variação dos resultados utilizando espécies de mesmo gênero pode ser atribuída a adaptação e colonização da rizosfera, uma vez que as plantas produzem espécies reativas de oxigênio (ROs) para dificultar a infecção e colonização, seja do fitopatógeno ou do agente antagonista. Desse modo, *Trichoderma* spp. apresenta tolerância a ROs, no entanto essa tolerância depende da cepa utilizada, como relatado por Monte, Bettiol e Hermosa (2019).

Gráfico 3— Taxa de infecção (TI) de *Fusarium* spp. em plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims) oriundas de sementes tratadas produtos biológicos à base de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* sp. (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) e inoculadas com *Fusarium* spp na fase de muda. Testemunha: Mudas inoculadas e sementes não tratadas com produtos biológicos.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A ausência de efeitos significativos em variáveis biométricas (Tabela 2) e a eficiência na redução e inibição da infecção do patógeno (Gráfico 3) por agentes de biocontrole podem indicar que as cepas dos tratamentos biológicos apresentaram efeito protetor sobre as plantas, possivelmente relacionado ao estabelecimento dos mecanismos de controle como indução de resistência, competição, antibiose ou micoparasitismo. Entretanto, para obtenção de resultados melhores nas características biométricas e fisiológicas provavelmente faz-se necessário reaplicação ao longo do ciclo da cultura.

Resultados semelhantes foram encontrados por Riana *et al.* (2025) ao estudarem o efeito de *Trichoderma* sp. no crescimento e controle da fusariose em tomateiro (*Solanum lycopersicum*), onde o uso desse antagonista não proporcionou incrementos em variáveis biométricas, mas reduziu efetivamente a severidade da doença.

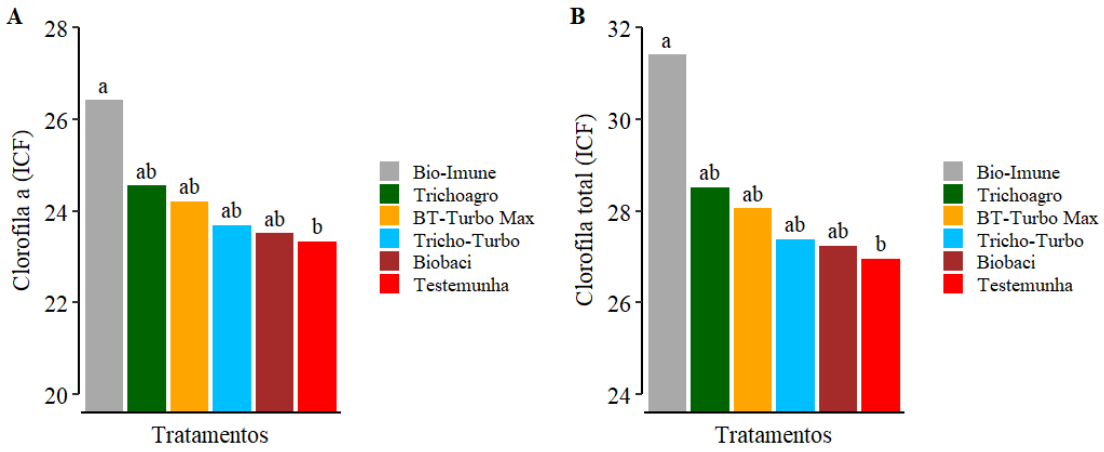
A microbiolização de sementes pode promover a formação de uma barreira biológica que contribui com a redução da infecção do patógeno na semente devido aos inúmeros mecanismos de ação que os antagonistas podem proporcionar (Silva *et al.,* 2024). Ferreira *et al.,* (2021) ao estudarem o potencial de diferentes espécies de *Bacillus* spp. no tratamento de sementes de milho (*Zea mays*) para controle de *F. verticillioides* constatou eficiência no controle do patógeno. Sarzia *et al.* (2024) comprovaram a eficiência de *Trichoderma* spp. na microbiolização de sementes de feijoeiro no controle de *Macrophomina phaseolina*.

Com relação aos teores de clorofila Falker *a* (Chla) e os teores de clorofila total (Chlt), o tratamento Bio-imune® apresentou maior eficiência dentre todos os produtos utilizados na preservação dos teores de clorofila (Gráfico 4), uma vez que os demais se assemelharam a testemunha. Na testemunha inoculada e não tratada, observou-se que o patógeno promoveu redução significativa nos teores de clorofila ocasionado pela produção de radicais livres pela planta e, consequentemente, degradação dos pigmentos fotossintéticos.

Desse modo, o uso do tratamento Bio-imune® promoveu conservação nos índices de clorofila, além de inibir a infecção do patógeno, demonstrando sua eficácia na conservação da capacidade fotossintética da planta mesmo sob estresse, contribuindo para produção de fotoassimilados e energia, que favorece uma maior tolerância a infecção por receber aporte nutricional para desenvolver os mecanismos de defesa.

A menor eficiência dos demais tratamentos nessa variável possivelmente podem ser devido à falta da atividade antioxidante, que combate as ROs e a ativação de mecanismos de defesa mais intensos, que provocam alto gasto energético, comprometendo a síntese de pigmentos, como relatado por Wang *et al.* (2025).

Gráfico 4 — Índice de clorofila *a* e *total* em plantas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims) oriundas do tratamento de sementes com produtos biológicos (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) e inoculadas com *Fusarium* spp. na fase de muda. Testemunha: Muda inoculada e semente não tratadas com produtos biológicos



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Alwathnani; Perveen (2012) ao avaliarem o efeito da infecção com *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* de plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicum)* descreveram redução do teor de clorofila nas folhas em 80%. O *Fusarium* spp. ao infectar e colonizar a planta realiza o bloqueio da passagem da seiva bruta no xilema provocando estresse oxidativo pela produção e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROs) e um défict hídrico nas folhas, onde afeta negativamente a fotossíntese pela redução da entrada de CO_2 promovido pelo mecanismo de fechamento dos estômatos, reduzindo a perda de água e consequemnte os teores de clorofila devido ao acúmulo de ROs, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e aumentando a produção de malondialdeído, que atua como indicador de estresse oxidativo e de danos celulares (Chávez-Arias; Gómez-Caro; Restrepo-Díaz, 2019).

As principais consequências do processo de infecção de *Fusarium* spp. na fotossíntese correspondem a menor produção de fotoassimilados e energia, onde interfere na ativação dos mecanismos de defesa pela planta, que demandam alto gasto energético, contribuindo com a ausência ou redução de barreiras que provocariam na redução da infecção. Além disso, essa interferência provoca plantas com menor vigor vegetativo e reprodutivo por não ter acumulado fotoassimilados necessários e suficientes para o desenvolvimento (Chávez-Arias; Gómez-Caro; Restrepo-Díaz, 2019; Hasanuzzaman, *et al.*, 2020; Wang *et al.,* 2025). Desse modo, evidencia-se a importância da conservação dos teores de clorofila pelo tratamento Bio-imune®, onde contribui com plantas mais resistentes e manutenção da atividade fotossintética.

4 CONCLUSÃO

No controle *in vitro* de *Fusarium* spp., isolado de maracujazeiro amarelo, todos os produtos comerciais à base de *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp. contribuíram com a redução do crescimento micelial assim como redução e inibição da esporulação do patógeno, sendo o de maior eficiência o tratamento Trichoagro®.

No controle *in vivo*, os produtos biológicos apresentaram efeito significativo para índices de clorofila *a*, total e a taxa de infecção. Dentre os produtos testados, o Bio-imune®, à base de *Bacillus velezensis*, apresentou maior destaque por promover controle do patógeno e preservação das variáveis biométricas e fisiológicas.

REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS**. PAÍNES DE PRODUÇÃO.** Disponível em**:** https://abrafrutas.org/paineis-de-producao/. Acesso em: 10 out. 2025

ABREU, L. D. P. S.; BERBERT, P. A.; DE SOUZA TEODORO, C. E.; MARTINAZZO, A. P. **Alternativa sustentável de uso da *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão.** Revista de Ciências Ambientais, v. 16, n. 1, 2022.

AJUNA, H.; LIM, H.; MOON, J.; WON, S.; CHOUB, V.; CHOI, S.; YUN, J.; AHN, Y. **The prospect of hydrolytic enzymes from *Bacillus* species in the biological control of pests and diseases in forest and fruit tree production.** International Journal of Molecular Sciences, v. 24, 2023.

ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. Métodos em Fitopatologia. Minas Gerais. UFV, 2016.
ALMEIDA, I. D. S. A.; DADAZIO, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; ANDRADE, S. C. R. B.; SUSSAI, J. F.; HAMAMURA, H.; DOMINGUES, R. N.; SCARAMUSSA, A. S. **Monitoramento de doenças na cultura do maracujá (*Passiflora* spp.) em duas diferentes cultivares submetidas a adubações distintas.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 9, p. 91224-91233, 2021.

AL-REZA, S. M.; RAHMAN, A.; AHMED, Y.; KANG, S. C. Inhibition of plant pathogens *in vitro* and *in vivo* with essential oil and organic extracts of *Cestrum nocturnum* L. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 96, n. 2, p. 86-92, 2010.
ALWATHNANI, H. A.; PERVEEN, K. **Biological control of *Fusarium* wilt of tomato by antagonist fungi and cyanobacteria.** African Journal of Biotechnology, v. 11, p. 1100–1105, 2012.

ASSENA, M. W.; PFANNSTIEL, J.; RASCHE, F. **Inhibitory activity of bacterial lipopeptides against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Strigae*.** BMC Microbiology, v. 24, n. 1, p. 227, 2024.

BARBOSA, L. R.; CASTRO, B. M. C.; SOLIMAN, E. P.; WILCKEN, C. F.; IEDE, E. T.; ZANUNCIO, J. C. **Controle Biológico no MIP Florestal.** In: Novo Manual de Pragas Florestais Brasileiras. LEMES, P. G.; ZANUNCIO, J. C. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

BATISTA, D. C.; BARBOSA, M. A. G. **Doenças fúngicas do sistema radicular do maracujazeiro.** In: Maracujazeiro-azedo: polinização, pragas e doenças. EPAGRI, Santa Catarina, 2018.

BLASZCZYK, L.; SIWULSKI, M.; SOBIERALSKI, K.; LISIECKA, J.; JEDRYCZKA, M. ***Trichoderma* spp.—Application and prospects for use in organic farming and industry.** Journal of Plant Protection Research, v. 54, p. 309–317, 2014.

CARVALHO NETO, S.; SILVA, J. F.; SOUZA, M. C.; SILVA, H. F.; SILVA, E. C.; NASCIMENTO, L. C. **Controle de *Colletotrichum* spp. em maracujazeiro amarelo com elicitores de resistência.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 11, n. 1, 2023.

CARVALHO, A. M. S. D. **Caracterização morfológica de isolados de *Fusarium oxysporum* associados ao mal do panamá e inibição in vitro do crescimento micelial por isolados de *Bacillus*.** Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, 2022.

CARVALHO, J. A. D.; JESUS, J. G. D.; ARAÚJO, K. L.; SERAFIM, M. E.; GILIO, T. A. S.; NEVES, L. G. ***Passion fruit (Passiflora* spp.) species as sources of resistance to soil phytopathogens *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* complex.** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 43, n. 1, p. e-427, 2020.

CATARINO, A. D. M.; RODRIGUES, A. A. C.; SILVA, L. L. S.; OLIVEIRA, L. D. J. D.; SARDINHA, D. H. S.; COSTA, M. D. **Morphological aspects and effect of carbon sources in the physiology of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*.** 2018.

CAVICHIOLI, J. C.; LISBOA, L. A. M.; CUNHA, M. L. O.; VITORINO, R. A.; CONTIERO, L. A. F.; FIGUEIREDO, P. A. M. **Physiology and development of passion fruit under different propagation methods and irrigation intervals.** *Revista Agrotecnologia*, v. 12, n. 1, 2021.

CAVICHIOLI, J. C.; MELETTI, L. M. M.; NARITA, N. **Aspectos da cultura do maracujazeiro no Brasil.** TodaFruta, Jaboticabal-SP, 11 p., 2018.

CAVICHIOLI, J. C.; MELETTI, L. M. M.; NARITA, N. **Novas técnicas recomendadas no manejo de doenças do maracujazeiro.** Pesquisa & Tecnologia, v. 11, n. 1, p. 1–6, 2014.

CEAGESP. **Fruto de maracujá.** 2019. Disponível em: https://ceagesp.gov.br/comunicacao/noticias/conheca-os-beneficios-do-maracuja-azedo-o-produto-da-semana-285/. Acesso em: 10 out. 2025.

CEIRO-CATASÚ, W. G.; VEGA-GONZÁLEZ, Y.; TACO-SÁNCHEZ, M. E.; GAIBOR-FERNÁNDEZ, R. R.; SOSA-SÁNCHEZ, O. **Antagonismo de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride* sobre aislados de *Fusarium* spp. procedentes de *Nicotiana tabacum*.** 2021.

CHÁVEZ-ARIAS, C. C.; GÓMEZ-CARO, S.; RESTREPO-DÍAZ, H. **Physiological, biochemical and chlorophyll fluorescence parameters of cape gooseberry plants infected with *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali*.** Physiological and Molecular Plant Pathology, v. 105, p. 84–90, 2019.

COELHO, I. L.; CONCEIÇÃO, C. S.; SANTOS, T. S.; OLIVEIRA, M. G.; MORAES, A. J. G.; CRUZ, B. L. S.; GAMA, M. A. S.; LARANJEIRA, D. **Biocontrole de doenças radiculares: uma realidade prática ou apenas utopia?** In: Desafios do Manejo de Doenças Radiculares Causadas por Fungos. LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. Editora Universitária da UFRPE. Recife-PE, 2018.

CROUS, P. W.; LOMBARD, L.; SANDOVAL-DENI, M.; SEIFERT, K. A.; THINES, M. ***Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell.** Studies in Mycology, v. 98, n. 1, p. 1-184, 2021. DOI: 10.1016/j.simyco.2021.100116.

CRUZ, J. M. F. L.; FARIAS, O. R.; MOURA, I. N. B. M.; LINNE, J. A.; SILVA, L. D. R.; NASCIMENTO, L. C**. Microbiolization of cowpea seeds with commercial strains of *Trichoderma asperellum* and *T. harzianum*.** *Revista Ceres*, v. 69, p. 613–618, 2022.

DENG, J.-J.; HUANG, W.-Q.; LI, Z.-W.; LU, D.-L.; ZHANG, Y.; LUO, X.-C. **Biocontrol activity of recombinant aspartic protease from *Trichoderma harzianum* against pathogenic fungi.** Enzyme Microbial Technology, v. 112, p. 35–42, 2018.

DUARTE-LEAL, Y.; POZO-MARTÍNEZ, L.; MARTÍNEZ-COCA, B. **Antagonismo in vitro de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg frente a aislados de *Fusarium* spp.** Revista de Protección Vegetal, v. 33, n. 1, p. 00–00, 2018.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R.; GLICK, B. R. **Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp.** Physiological and Molecular Plant Pathology, v. 126, p. 102048, 2023.

FALEIRO, F. G. **Maracujá: fruta nativa do Brasil para o mundo.** Anuário HF, 2022.

FERNANDES, Í. V.; PEREZ DE CARVALHO, H.; PEREZ DE CARVALHO DOS SANTOS, A. C.; GALVÃO CHAGAS, Y. J. **Inhibition of mycelial growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by isolates of *Trichoderma* spp.** Revista Agrogeoambiental, v. 13, n. 4, p. 648–657, dez. 2021. DOI: 10.18406/2316-1817v13n420211634.

FERREIRA, F. V.; HERRMANN-ANDRADE, A. M.; CALABRESE, C. D.; BELLO, F.; VÁZQUEZ, D.; MUSUMECI, M. A. **Effectiveness of *Trichoderma* strains isolated from the rhizosphere of citrus tree to control *Alternaria alternata, Colletotrichum gloeosporioides* and *Penicillium digitatum* A21 resistant to pyrimethanil in post-harvest oranges (Citrus sinensis L. (Osbeck)).** Journal of Applied Microbiology, v. 129, n. 3, p. 712-727, 2020.

FERREIRA, L. G.; JULIATTI, F. C.; MORAES, M. F. D.; KOBAYASTI, L.; RONCATTO, G.; JULIATTI, B. C. M.; ARAÚJO, C. A. T. **Productivity and mortality of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* in passionfruit vines BRS Rubi do Cerrado, grafted onto different rootstocks.** Bioscience Journal, v. 39, p. 1–13, 2023.

FERREIRA, T. C.; LAGO, L. D.; SILVA, L. G.; PACÍFICO, M. G.; FARIA, M. R. D.; BETTIOL, W. **Potencial de *Bacillus* spp. em promover o crescimento e controlar *Fusarium verticillioides* em milho.** Summa Phytopathologica, v. 47, n. 4, p. 195-203, 2021.

FLORA E FUNGA**. *Passiflora* in Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB12523. Acesso em: 10 out. 2025.

FOURIE, G.; STEENKAMP, E. T.; PLOETZ, R. C.; GORDON, T. R.; VILJOEN, A. **Current status of the taxonomic position of Fusarium oxysporum formae specialis cubense within the *Fusarium oxysporum* complex.** Infection, Genetics and Evolution, v. 11, n. 3, p. 533-542, 2011.

GARCÍA, L. **Evaluación del antagonismo de cepas de *Trichoderma* spp. frente a cepas de *Fusarium* spp. y *Colletotrichum* spp. aisladas de cultivos orgánicos de sábila (Aloe vera) y arándano (Vaccinium corymbosum).** Revista Teckne, v. 13, n. 1, p. 56–66, 2016.

GHASEMI, G.; AHMADIAN, N. B.; JELODAR, H.; RAHIMIAN, S.; GHANDILI, A.; DEHESTANI, P.; SHARIATI, P. **Antifungal chitinases from *Bacillus pumilus* SG2: preliminary report.** World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 26, p. 1437–1443, 2010.

HASANUZZAMAN, M. et al. **Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of ROS signaling.** Plant Signaling & Behavior, v. 15, n. 9, p. 170–178, 2020.

HURTADO-CLOPATOSKY, S.; MELGAREJO, L. M.; CRUZ-CASTIBLANCO, G. N.; HOYOS-CARVAJAL, L. M. **Biotechnological potential of purple passion fruit endophytic fungi (*Passiflora edulis f. edulis*; Passifloraceae).** Acta Biológica Colombiana, v. 28, n. 3, 2023.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Produção de maracujá, 2025.** Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracujá/br

JAMIL, A. **Antifungal and plant growth promoting activity of *Trichoderma* spp. against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* colonizing tomato.** Journal of Plant Protection Research, v. 61, n. 3, p. 243–253, 2021.

JIANG, W.; LIU, J.; HE, Y.; PAYIZILA, A.; LI, Y. **Biological control ability and antifungal activities of *Bacillus velezensis* Bv S3 against *Fusarium oxysporum* that causes rice seedling blight.** Agronomy, v. 14, n. 1, p. 167, 2024.

KUMAR, V.; KOUL, B.; TAAK, P.; YADAV, D.; SONG, M. **Journey of *Trichoderma* from pilot scale to mass production: a review.** Agriculture, v. 13, n. 10, p. 2022, 2023.

LARANJEIRA, F. F.; LIMA, G. S.; LIMA, L. K. S.; GIRARDI, E. A.; JESUS, O. N. **Fusariose do maracujazeiro: etiologia, epidemiologia e estratégias de manejo.** In: Desafios do Manejo de Doenças Radiculares Causadas por Fungos. LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. Editora Universitária da UFRPE, Recife-PE, 2018.

LIMA, L. K. S.; JESUS, O. N.; SOARES, T. L.; OLIVEIRA, S. A. S.; HADDAD, F.; GIRARDI, E. A. **Water deficit increases the susceptibility of yellow passion fruit seedlings to *Fusarium* wilt in controlled conditions.** Scientia Horticulturae, 2019.

LUCAS, S. S. G.; FREITAS, C. E. G.; MENESES, D. N. N.; FREIRE, V. E. B.; SOUZA, S. H. N.; ASSUNÇÃO, M. C.; SOUZA JUNIOR, F. J. C. **Fusariosis in the Brazilian semiarid: impact and damage in agricultural crops.** In: *Advances in research and innovation in agricultural systems: conjunctures of agricultural sciences.* Editora Científica Digital, 2023. p. 21–41.

MCKINNEY, H. H. Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, n. 5, p. 195-217, 1923.

MEIRA, B. S.; SANTOS, E. A.; CRUZ, M. H**. Fruticultura: cultivo do maracujazeiro azedo.** Curitiba: SENAR AR/PR, 2022. 1 e-book (PDF, 35.500 KB). ISBN 978-65-88733-24-0

MELO, T. A.; DE SOUZA SERRA, I. M. R. **O gênero *Bacillus* aplicado ao controle biológico de doenças de plantas.** Research, Society and Development, v. 10, n. 9, p. e18110917817, 2021.

MENEZES, M**. Fungos fitopatogênicos.** Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 1993.

MESQUITA, E. F.; MESQUITA, F. O.; SOUSA, C. S.; COSTA, J. P.; QUEIROZ, L. L. G.; SOARES, V. C. S.; TARGINO, F. N.; JALES, D. V. D. J.; NETO, J. F. B.; ROCHA, J. L. A.; SOUTO, A. G. L. **Silício e adubação orgânica sobre os atributos físico-químicos de frutos de maracujá-amarelo no semiárido brasileiro.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 1, p. 100-116, 2024.

MF MAGAZINE. **Pomar.** 2020. Disponível em: https://blog.mfrural.com.br/como-plantar-maracuja/. Acesso em: 10 out. 2025.

MILWARD, M. A. **Flor do maracujá.** 2020. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/BemVindoConsultaPublicaConsultar.do?... Acesso em: 10 out. 2025.

MONNERAT, R.; MONTALVÃO, S. C.; MARTINS, E. S.; QUEIROZ, P. R.; DA SILVA, E. Y. Y.; GARCIA, A. R.; GOMES, A. C. M. M. **Manual de produção e controle de**

qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura. EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos 369, 2020.

MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. ***Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas.** In: Trichoderma: uso na agricultura. Brasília: Embrapa, p. 181–199, 2019.

MORILLO, A. C.; MANJARRES, E. H.; MORILLO, Y. **Diversity and genetic structure of yellow passion fruit in Boyacá-Colombia using microsatellite DNA markers.** Brazilian Journal of Biology, v. 84, p. e282426, 2024.

MOURA, I. N. B. M.; SILVA, J. N.; SILVA, E. C.; FARIAS, O. R.; NASCIMENTO, L. C. **Controle biológico com *Trichoderma* sp. sobre a qualidade de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 15, n. 1, p. 113–123, 2022.

NÓBREGA, J. S.; DO NASCIMENTO, L. C. **Sanidade de sementes e sua influência no controle de fitopatógenos.** Research, Society and Development, v. 9, n. 10, p. e649108101, 2020.

OSZUST, K.; CYBULSKA, J.; FRĄC, M. **How do *Trichoderma* genus fungi win a nutritional competition battle against soft fruit pathogens? A report on niche overlap nutritional potentiates.** International Journal of Molecular Sciences, v. 21, p. 4235, 2020.

PERUCH, L. A. M.; COLARICCIO, A.; DA CRUZ BATISTA, D. **Controle de doenças do maracujazeiro: situação atual e perspectivas.** Agropecuária Catarinense, v. 31, n. 1, p. 37–40, 2018.

PIRES, R. A.; JESUS, O. N.; LIMA, L. K. S.; SILVA, L. N.; LARANJEIRA, F. F. ***Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* isolates display variable virulence in *Passiflora edulis* Sims seedlings.** European Journal of Plant Pathology, v. 162, n. 2, p. 465-476, 2022.

QUEVEDO, A. C.; MUNIZ, M. F. B.; SAVIAN, L. G.; SARZI, J. S.; SALDANHA, M. A. **Ação antagonista in vitro de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium oxysporum*.** Ciência Florestal, v. 32, p. 2288-2303, 2023.

RAZA, N.; LING, L.; YANG, Q.; HUANG, Q.; SHEN, Q. **Response of tomato wilt pathogen *Ralstonia solanacearum* to the volatile organic compounds produced by a biocontrol strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR-9.** Scientific Reports, v. 6, p. 1–13, 2016.

RIANA, N.; HAMIDSON, H.; IRSAN, C. **The effectiveness of liquid *Trichoderma harzianum* application in enhancing tomato growth (*Solanum lycopersicum* L.) and suppressing *Fusarium* wilt disease.** Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, v. 22, n. 1, p. 20-30, 2025.

RODRIGUES, A. A. C.; BARROS, D. R. S.; SILVA, E. S. E.; OLIVEIRA, L. D. J. M. G.; DIAS, L. R. C.; NASCIMENTO, I. O.; BORBA, M. F. O.; SOUSA, E. G.; CUNHA, É. L.; PAZ, D. S. D. ***Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*: antagonismo in vitro por *Bacillus* spp. e reação de cultivares de feijão-caupi sob adubação orgânica.** In: Estudos agroecológicos: o avanço da ciência no Brasil. Editora Científica, 2025. DOI: 10.37885/231014864.

RUBIO-TINAJERO, S.; OSORIO-HERNÁNDEZ, E.; ESTRADA-DROUAILLET, B.; SILVA-ESPINOSA, J. H. T.; RODRÍGUEZ-MEJÍA, M. D. L.; NAVA-JUÁREZ, R. A. ***In***

***vitro* antagonist biocontrol of *Fusarium oxysporum* and *Dickeya chrysanthemi*.** Revista Mexicana de Fitopatología, v. 39, n. 3, p. 515-528, 2021.

SALAZAR, F.; ORTIZ, A.; SANSINENEA, E. **Characterisation of two novel bacteriocin-like substances produced by *Bacillus amyloliquefaciens* ELI149 with broad-spectrum antimicrobial activity.** *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, v. 11, p. 177–182, 2017.

SARZIA, J. S.; SAVIAN, L. G.; COUTO, L. F. S. C.; TABALDI, L. A.; SILVA, J. C. P.; MUNIZ, M. F. B. **Biocontrole de *Macrophomina phaseolina* e indução de resistência em feijoeiro com uso de *Trichoderma* spp.** Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 28, n. 3, p. 304-310, 2024.

SEIFERT, K.; MORGAN-JONES, G.; GAMS, W.; KENDRICK, B. **The genera of Hyphomycetes.** Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2011.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effects of nitrogen fertilization on the expression of slow mild wing in knox wheat. **Phytopathology**, 67: 1051-1055, 1977.
SILVA, A. D. S.; OLIVEIRA, E. J.; BARBOSA, F.; JESUS, O. N. **Seleção de metodologias para inoculação da fusariose do maracujazeiro causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*.** Cruz das Almas – BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2011.

SILVA, C. M.; SILVA, A. V.; CORTEZ, L. C. A.; FREITAS, B. A. L.; SILVA, J. L. C. **Patógenos de sementes: como identificar, controlar e prevenir.** 1. ed. Formiga-MG: Editora MultiAtual, 2024.

SILVA, T. W. R.; SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; TESSMANN, D. J. **Pine seeds treatment with *Trichoderma* for *Fusarium* control**. *Floresta e Ambiente*, v. 26, n. 2, e20170875, 2019.

SOUZA, A. G. V.; FARIA, L. O.; BESERRA, G. A.; SILVA, G. G.; BORGES, L. P.; DIAS, F. V.; MATOS, F. S.; SANTOS, T. E. B. **Micorrização e respiração microbiana do solo sob o cultivo de maracujá e pinhão-manso em diferentes regimes hídricos.** Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 21, n. 2, p. 159-167, 2022. DOI: 10.5965/223811712122022159.

SOUZA, W. R.; AGUIAR, R. W. S.; SOUSA, R. R.; OLIVEIRA, L. B.; SANTOS, G. R.; LOPES, M. B.; ALMEIDA, L. B.; FIDELIS, R. R. **Qualidade sanitária de sementes de soja submetidas a tratamento com *Bacillus* spp.** Caderno Pedagógico, v. 22, n. 5, e14875, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n5-141.

THANGAVEL, R.; PATTEMORE, J. A.; REBIJITH, K. B. ***Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* infecting passionfruit in New Zealand in a changing taxonomic landscape.** Australasian Plant Pathology, v. 50, p. 365–377, 2021. DOI: 10.1007/s13313-021-00782-4.

TUAREZ, D. C.; GONZALES, H. R.; LOOR, M. M.; CRUZ, D. A. ***Trichoderma asperellum* en el control de *Fusarium* sp., en genotipos de *Passiflora*.** Sinergia Académica, v. 7, n. Especial 6, p. 88–104, 2024.

TYŚKIEWICZ, R.; NOWAK, A.; OZIMEK, E.; JAROSZUK-ŚCISEŁ, J. ***Trichoderma*: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth.** International Journal of Molecular Sciences, v. 23, n. 4, p. 2329, 2022.

VIDAL, M. de. **Fruit growing (mango): v. 9 n. 371, December, 2024.** *Caderno Setorial ETENE*, v. 9, 2024.

VIEIRA, J. B.; ROCHA, L. D. S.; SILVA, H. S. A.; LARANJEIRA, F. F. **Survival mechanisms of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* are affected by application of cabbage and cassava debris.** Revista Caatinga, v. 35, n. 3, p. 586-594, 2022.

VIEIRA, L. A.; CARVALHO, V. S. A.; PIMENTEL, V. S.; MOREIRA, E. M.; VIEIRA, A. C.; SILVA E SILVA, F. R.; RIBEIRO, J. M. R.; GURGEL, F. L.; ANDRADE NETO, R. C.; ARÉVALO, M. R.; ROSSI, C. Q.; VIEIRA, D. D. S. S. **Avaliação do desenvolvimento de cultivares de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis*) em diferentes substratos.** 2023.

WANG, N. et al. **Synergistic effects of *Trichoderma harzianum* and light quality on photosynthetic carbon metabolism and growth in tomato plants.** Agronomy, v. 15, n. 6, p. 1362, 2025.

WOŹNIAK, M.; GAŁĄZKA, A.; TYŚKIEWICZ, R.; JAROSZUK-ŚCISEŁ, J. **Endophytic bacteria potentially promote plant growth by synthesizing different metabolites and their phenotypic/physiological profiles in the Biolog GEN III MicroPlateTM Test.** International Journal of Molecular Sciences, v. 20, p. 5283, 2019.

YOU, J.; LI, G.; LI, C.; ZHU, L.; YANG, H.; SONG, R.; GU, W. **Biological control and plant growth promotion by volatile organic compounds of *Trichoderma koningiopsis* T-51.** Journal of Fungi, v. 8, n. 2, p. 131, 2022.

YOUNESI, H.; BAZGIR, E.; DARVISHNIA, M.; CHEHRI, K. **Selection and control efficiency of *Trichoderma* isolates against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* in Iran.** Physiological and Molecular Plant Pathology, v. 116, p. 101731, 2021.

ZHANG, N.; WANG, Z.; SHAO, J.; XU, Z.; LIU, Y.; XUN, W.; ZHANG, R. **Biocontrol mechanisms of *Bacillus*: Improving the efficiency of green agriculture.** Microbial Biotechnology, v. 16, n. 12, p. 2250–2263, 2023.

ZOTTI, M.; SELLA, L.; BOLZONELLO, A.; GABBATORE, L.; PEGGION, C.; BORTOLOTTO, A.; ELMAGHRABY, I.; TUNDO, S.; FAVARON, F. **Targeted amino acid substitutions in a *Trichoderma* peptaibol confer activity against fungal plant pathogens and protect host tissues from *Botrytis cinerea* infection.** International Journal of Molecular Sciences, v. 21, p. 7521, 2020.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE ESTIATIVA DE CUSTO

Em uma situação do plantio de 1 hectare de mudas de maracujazeiro, utilizando o espaçamento de 3x2 do maracujazeiro e a viabilidade germinativa da semente de 90%, obtêm uma população de plantas de 1.667 plantas. Considerou-se a utilização de 2 sementes em cada saco para produção de mudas de maracujazeiro.

Desse modo, utiliza-se a quantidade de 3.334 sementes e 3,34L para realizar a produção e o tratamento de sementes, respectivamente, em 1 ha.

Tabela 3 ─Análise da estimativa de custo de utilização de produtos biológicos à base de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* sp. (BT-Turbo Max®, Bio-Imune®, Biobaci®, Tricho-Turbo® e Trichoagro®) para realizar o tratamento de sementes de maracujazeiro amarelo visando o controle de *Fusarium* spp.

Produto	Quantidade (L ou Kg)	Valor	Dose	Tratamento de sementes (3,34L)	Custo
T2 - BT-Turbo Max®	1L	R$ 101,85	1,33mL/200mL	22,211 mL	R$ 2,26
T3 - Bioimune®	1L	R$ 82,50	5,33 mL/200mL	89 mL	R$ 7,34
T4 - Biobaci®	2L	R$ 135,00	2,67 mL/200mL	44,59 mL	R$ 3,00
T5 – Tricho-turbo®	1L	R$ 417,00	0,00267mL/200mL	0,0445 mL	R$ 0,02
T6- Trichoagro®	1kg	R$ 194,00	1,87g/200mL	31,23g	R$ 6,05

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Diante da eficiência dos produtos biológicos na redução e inibição da infecção e da análise de custo, é possível afirmar que todos os produtos utilizados são viáveis economicamente para o tratamento de sementes.

APÊNDICE B – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O maracujazeiro apresenta grande importância econômica e social, contribuindo intensivamente para o desenvolvimento da fruticultura no Brasil. No entanto, essa cultura é acometida por várias doenças, sendo a murcha de *Fusarium* considerada uma das principais devido a agressividade e a etiologia do patógeno, uma vez que é causada pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, um patógeno de solo que produz estruturas de resistências que permite a permanência do fungo por vários anos, dificultando o seu controle e podendo inviabilizar a produção, sendo necessário cada vez mais estudos para realizar o manejo dessa doença.

Desse modo, o presente trabalho permitiu evidenciar os benefícios dos agentes de biocontrole como *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. no manejo de doenças, como os mecanismos de competição, antibiose, indução de resistência, parasitismos, o caráter sustentável e a viabilidade, principalmente diante da problemática do uso exacerbado de fungicidas na agricultura. Esta pesquisa, possibilitou um caráter inovador no manejo da murcha de *Fusarium* com a microbiolização das sementes de maracujazeiro amarelo com antagonistas, metodologia pouco explorada na literatura.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a microbiolização reduziu a infecção por *Fusarium* spp., sem comprometer o crescimento e a fisiologia do maracujazeiro, evidenciando o produto Bio-imune®, a base de *B. velezensis*, como melhor alternativa para o manejo da doença. A associação de controle biológico na semente visa controlar o patógeno, mas também contribuir com um método seguro ao meio ambiente e a sociedade, para a segurança alimentar, conservação dos recursos e equilíbrio ecológico, além de ser viável economicamente, podendo ser utilizado por pequenos, médios e grandes produtores.