

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO

EFEITO DO USO DE DIFERENTES CEPAS DE *TRICHODERMA* NA
CULTURA DA CENOURA

Miguel Medeiros Netto Ottoni

Relatório apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso
em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz”, ESALQ-USP.

Piracicaba

2019

Miguel Medeiros Netto Ottoni

**EFEITO DO USO DE DIFERENTES CEPAS DE *TRICHODERMA* NA
CULTURA DA CENOURA**

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Dini Andreote

Relatório apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso
em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ-USP.

Piracicaba

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar nesse caminho e sempre me levar ao melhor lugar.

A meus pais, Claudio e Renata, pelo amor e pelos exemplos de vida que são.

A meus irmãos, Pedro e Tiago, pelo grande companheirismo.

À República Uspeão, minha casa, que com os pilares Respeito, Humildade e União me mostrou que na graduação aprendemos não só a ser profissionais, mas também aprendemos a ser gente.

Ao professor Fernando Dini Andreote, grande referência na Biologia do Solo, pela orientação.

A Luiz de Queiroz, idealizador dessa memorável escola que é a ESALQ.

Ao grupo GEPOl e à professora Simone Mello, com os quais muito aprendi sobre horticultura.

A Marcelo, gerente da ECCO agro, que muito me ajudou no experimento, assim como a todos outros funcionários que me ajudaram nesse trabalho.

AGRADEÇO

RESUMO

Uma série de artigos demonstram os efeitos positivos da aplicação de *Trichoderma* em plantas, resultando na menor ocorrência de doenças e aumentos em produtividade, assim como na promoção de crescimento de plantas. No presente trabalho estudou-se o efeito da aplicação de produtos comerciais à base desse organismo na cultura da cenoura. Três diferentes produtos foram aplicados de forma separada ou em conjunto, sendo dois de cepas diferentes de *T. asperellum* e um de *T. harzianum*. Foi avaliada a produtividade, aspectos morfológicos da planta e perdas devido a patógenos de solo. Observou-se diferenças significativas na aplicação dos organismos em conjunto com relação à testemunha para produtividade, assim como para os tratamentos em que foi realizada a aplicação dos produtos isoladamente, o que evidencia o efeito do *Trichoderma* como promotor de crescimento de plantas de cenoura e uma possível interação dos organismos quando aplicados em conjunto. Há evidências que indicam que a aplicação em conjunto de diferentes organismos da espécie *Trichoderma* contribuiu para o maior crescimento de raízes, entretanto, conclusões definitivas não podem ser tomadas, já que houve diferença de população atribuída ao acaso. O trabalho demonstrou ser interessante o uso de *Trichoderma* na cultura da cenoura e propõe estudos mais aprofundados sobre o tema.

Palavras-chave: *Trichoderma*; Cenoura; *Daucus carota*; Biologia; Solo; Produtividade;

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1 Biologia dos solos agrícolas	2
2.2 Patógenos habitantes do solo	3
2.3 Controle biológico	4
2.4 <i>Trichoderma spp.</i>	6
2.4.1 Ação como antagonista de fitopatógenos.....	7
2.4.2 Ação como indutor de resistência em plantas	9
2.4.3 Ação como promotor de crescimento de plantas	10
2.5 Cenoura.....	11
3 OBJETIVO.....	13
4 MATERIAIS E MÉTODOS	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1 Germinação	17
5.2 População de plantas.....	18
5.3 Sanidade das raízes	19
5.4 Características morfológicas.....	20
5.5 Produtividade calculada	21
6 CONCLUSÃO	23
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 INTRODUÇÃO

As doenças de plantas são alguns dos fatores que causam maior redução na produtividade em campos agrícolas atualmente. Dentre essas doenças, as causadas por patógenos de solo têm grande importância, principalmente as ocasionadas por fungos fitopatogênicos. Alguns desses fungos pertencem aos gêneros *Pythium*, *Phytophthora*, *Alternaria*, *Rhizoctonia* e *Fusarium*, que tiveram a sua importância aumentada devido às práticas agrícolas adotadas recentemente, como a monocultura intensiva e a seleção de plantas com o objetivo de aumentar as produtividades (Chet *et al.*, 1997; Benítez *et al.*, 2004).

Assim, são necessários métodos de controle dessas doenças a fim de reduzir perdas e tornar a produção economicamente viável. Por muito tempo, a agricultura adotou como o principal método de controle de organismos patogênicos o uso de defensivos agrícolas de síntese (também chamados de pesticidas). Esses produtos são muito atraentes aos produtores, uma vez que a sua utilização é simples, sua ação é previsível e não há grande necessidade de conhecimento do agroecossistema para a sua utilização (Bettiol & Morandi, 2009).

No entanto, o uso intensivo desses produtos gerou uma série de problemas. Exemplos desses problemas são a contaminação de produtos, solo e água; a intoxicação dos aplicadores; a seleção de doenças e pragas resistentes; aumento da importância de doenças e pragas que antes eram secundárias; e o desequilíbrio ecológico (Bettiol & Morandi, 2009; Nozaki & Kliemann, 2016; Pedro *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2018).

Dessa forma, surge como alternativa racional o controle biológico. Ele se baseia na interação do hospedeiro, patógeno e microrganismos que habitam as proximidades do sítio de infecção e tem como objetivo limitar a ação do patógeno no hospedeiro e/ou induzir a resistência do hospedeiro (Rezende, 2011).

Dentre os agentes de biocontrole que mais vêm tendo destaque ultimamente, encontra-se os fungos do gênero *Trichoderma*. Esses organismos têm uma grande importância no controle de doenças ocasionadas por patógenos de solo (Harman *et al.*, 2004; Dubey *et al.*, 2007; Hermosa *et al.*, 2012; Sriram *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2016).

Além disso, o gênero *Trichoderma* tem ganhado importância recentemente pela descoberta dos seus efeitos como bioestimulantes, promotores de crescimento em plantas, melhoradores de qualidade e produtividade e redutores dos efeitos de estresses abióticos

(Hermosa et al., 2012; López-Bucio et al., 2015; Lorito et al., 2015; Fiorentino et al., 2018).

Uma cultura que sofre danos importantes das doenças causadas por patógenos de solo é a cenoura, principalmente com a doença denominada tombamento, que causa a morte tanto de plântulas, quanto de plantas adultas. Essa doença é causada por um complexo de patógenos, sendo os principais *R. solani*, *A. dauci* e *Pythium* spp. (Henz et al., 2016). Dessa forma, o controle biológico com o uso de *Trichoderma* spp. pode ser uma boa alternativa para o controle da doença.

Uma série de produtos com esse agente de controle biológico está disponível no mercado brasileiro e eles são constituídos por diferentes cepas (AGROFIT, 2019). Sabe-se que há diferenças de efeitos de cada cepa de acordo com a cultura-alvo e a localidade utilizada (Harman, 1991; Louzada et al., 2009). Dessa forma, é importante a definição das cepas de maior importância para uma cultura para uma determinada região.

O objetivo desse trabalho é de estudar os efeitos de produtos comerciais feitos a partir de diferentes cepas de *Trichoderma* na cultura da cenoura na região do cerrado mineiro e estudar a interação entre essas cepas quando aplicadas em conjunto ou separadas no solo após o plantio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Biologia dos solos agrícolas

O solo é um complexo sistema que apresenta uma enorme biodiversidade com organismos que interagem entre si e com as partículas nos seus arredores. Esses organismos podem ser macro ou microrganismos e interagem de forma a se autorregular quando em condições naturais, mantendo um equilíbrio biológico (Cotta, 2016).

As plantas fazem parte também do solo a partir do momento em que elas têm suas raízes fixadas nele e, mais que isso, interagem de maneira ativa com todos esses organismos. As interações das plantas com os organismos de solo, com enfoque aos microrganismos, são diversas e ocorrem na região ao redor da raiz denominada rizosfera (Barbosa et al., 2015).

Dessas interações podem surgir efeitos positivos ou negativos para as plantas. O principal exemplo de efeito negativo é o ligado aos patógenos das plantas, que se nutrem de tecidos delas ou agem de forma espoliatória, alterando a fisiologia e reduzindo a

produtividade delas. A exemplo dos efeitos positivos, pode-se destacar a promoção de crescimento às plantas, indução de resistência e o antagonismo com organismos patógenos (Figueira, 2018).

Sistemas de grande diversidade biológica, como florestas naturais, permitem que esses organismos mantenham o equilíbrio biológico. No entanto, a partir do momento que se reduz a diversidade de espécies em sistemas agrícolas, há o desequilíbrio desses organismos. Assim, há o favorecimento de populações oportunistas, muitas vezes patógenos de plantas, os quais podem se tornar epidêmicos (Gomes, 2015).

Além disso, outras práticas contemporâneas, como o uso intensivo de herbicidas no solo e outros produtos sintéticos, podem fazer com que haja a erradicação de determinados agentes de controle biológico, agravando a ocorrência de determinadas doenças (Barros et al., 2017).

2.2 Patógenos habitantes do solo

Atualmente, os patógenos habitantes do solo são um grande problema para a agricultura, causando grandes danos em uma série de culturas e perdas tanto durante a produção quanto em pós-colheita (Strange & Scott, 2005). Os fungos fitopatogênicos são alguns dos mais importantes deles, sendo capazes de sobreviver por muito tempo mediante estruturas de resistência e dormência, inviabilizando que certas propriedades agrícolas tenham o pleno aproveitamento de suas áreas (Ambrosio et al., 2008).

Dessa forma, métodos de controle devem ser adotados. Tradicionalmente, o método de controle mais utilizado é o químico, com os defensivos agrícolas. De acordo com a Organização de Alimentos e Agricultura (FAO, 2019), o uso de pesticidas cresceu de 2,3 milhões de toneladas em 1990 para 4,1 milhões de toneladas em 2017. Isso representa um aumento médio de quase 70 mil toneladas por ano nesse período. No Brasil, o consumo de pesticidas é de 210 mil toneladas, havendo um crescimento de 370% nos últimos 20 anos (Figura 1). Desse total, 16% é constituído por fungicidas e bactericidas.

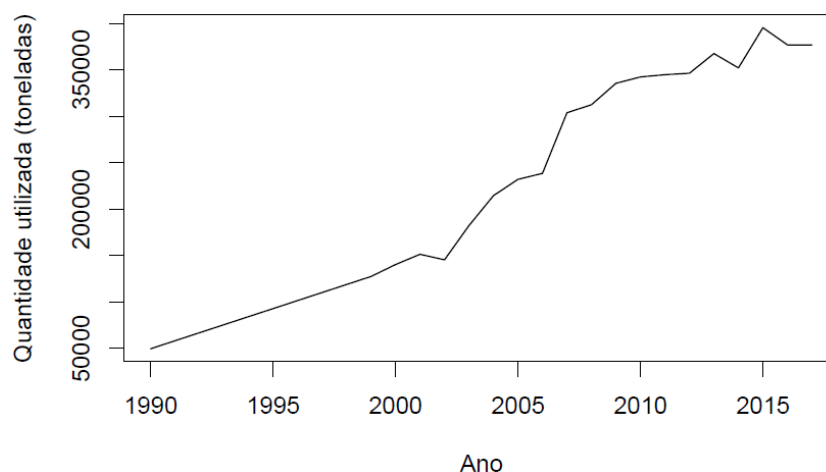


Figura 1-Crescimento no uso de defensivos agrícolas químicos no Brasil

Esse grande uso pode ser explicado pela eficiência e facilidade para o produtor, que aplica o produto e logo em seguida observa os resultados. No entanto, esse método de controle é caro e traz uma série de problemas quando mal utilizado ou utilizado em excesso. Dentre eles, há os malefícios à saúde humana, tanto de quem os manuseia, quanto de quem consome os produtos tratados com eles, danos ambientais, desenvolvimento de patógenos resistentes e emergência de patógenos que antes eram secundários (Silva et al., 2019).

Além disso, fungicidas não-específicos podem eliminar microrganismos nativos do solo, que tem papéis importantes nesse ambiente, como o antagonismo com patógenos das plantas cultivadas neles e a promoção do crescimento com a colonização da rizosfera (Heydari & Pessarakli, 2010).

Dessa forma, houve crescente necessidade de métodos alternativos de controle. Um método que foi visto como eficaz e é cada vez mais estudado se baseia no manuseio desses patógenos nativos do solo a fim de reestabelecer o equilíbrio das populações nele, reduzindo a incidência de doenças. Esse método é denominado controle biológico (Fraceto et al., 2018).

2.3 Controle biológico

O controle biológico pode ser definido como o uso de determinado organismo, que é denominado inimigo natural, para reduzir a população de certo organismo antagonista às plantas, denominado patógeno (Bueno & Lenteren, 2016).

O termo produto de biocontrole é dado a produtos extraídos, fermentados de origens naturais ou macro-organismos vivos que podem ser liberados no ambiente. No

controle de patógenos, os dois primeiros se destacam, sendo os macro-organismos mais voltados para o controle de pragas. Os produtos de biocontrole podem ser formados por somente uma fonte ou podem ser a mistura de várias dessas fontes, havendo ou uma ação específica ou efeitos múltiplos no hospedeiro. Caso o efeito seja como antagonista do patógeno, o produto é chamado de biopesticida. Caso ele tenha o efeito sobre a planta, promovendo seu crescimento ou ativando seu sistema de defesa, ele é chamado de biofertilizante (Heydari & Pessarakli, 2010).

Uma grande vantagem desse método de controle é que, ao contrário dos fungicidas sintéticos, que têm seu efeito por um curto prazo, ele apresenta determinada capacidade de se estabelecer no ecossistema, colonizando a rizosfera das plantas (Zeilinger et al., 2015).

Considera-se três fatores como importantes para a eficácia de produtos de biocontrole: os isolados utilizados devem ser efetivos no controle dos fitopatógenos-alvo, deve haver um baixo custo de produção desses organismos e a aplicação deve ser realizada de forma correta, com as doses ideais no período determinado como mais eficaz (Pomella & Ribeiro, 2009).

Segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), são registrados atualmente no Brasil 25 produtos de biocontrole de fungos. O primeiro registro foi realizado no ano de 2007 e a quantidade de registros realizada foi baixa nos 10 anos que seguiram. No entanto, nos anos de 2018 e 2019 a quantidade de registros concedidos cresceu muito, havendo 8 registros no primeiro ano e 7 no segundo (Figura 2), demonstrando a demanda crescente por esse tipo de produto (AGROFIT, 2019).

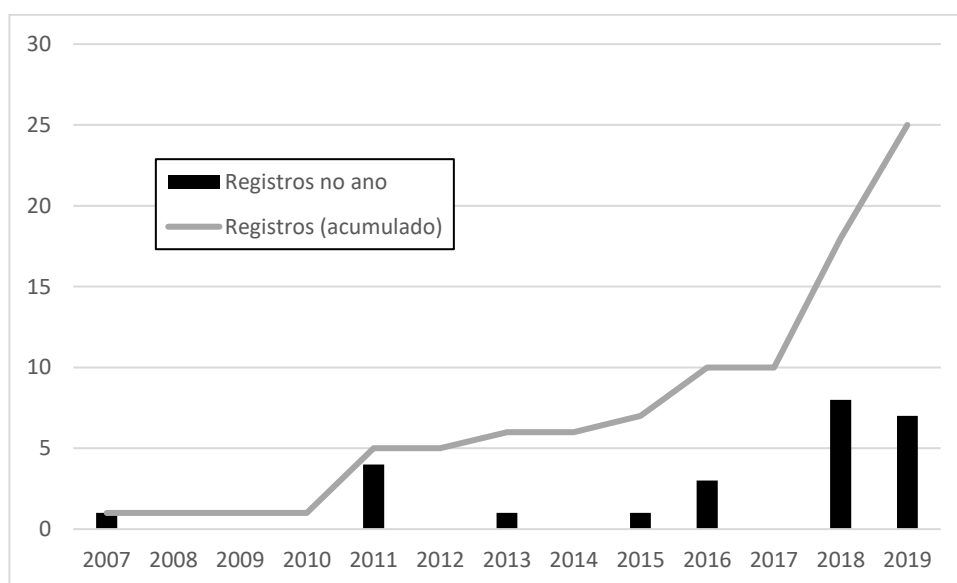


Figura 2-Número de registros de biofungicidas no Brasil ao longo do ano

Dentre os vários tipos de organismos capazes de realizar o controle biológico de patógenos, os fungos foram os mais estudados e são os mais utilizados recentemente (Schränk & Vainstein, 2010). As principais razões disso são: eficiência em eliminar os patógenos; grande diversidade genética desses organismos, permitindo encontrar os isolados adequados para o controle de cada patógeno; e baixo risco ambiental que eles representam, sendo primordialmente organismos decompositores (Thomas & Read, 2007).

No Brasil, há 17 produtos comerciais registrados como biofungicidas, sendo todos eles compostos por fungos do gênero *Trichoderma* (AGROFIT, 2019). Esse gênero vem tendo grande enfoque ultimamente por diversas ações benéficas que pode promover à planta.

2.4 *Trichoderma* spp.

O gênero *Trichoderma* é composto por espécies derivadas coloniais do gênero *Hypocrea* que perderam a sua capacidade de completar seu ciclo sexual (anamorfos) ao longo da evolução. (Gomes, 2015). Ele pertence ao reino Fungi, filo Ascomycota, classe Ascomycetes, ordem Hypocreales e família Hypocreaceae.

O gênero foi inicialmente descrito por Peerson em 1794, como possuidor de algumas características bem definidas como: rápido crescimento em meio de cultura; conídios variando de amarelo a verde, uninucleados e ovóides; clamidiósporos algumas vezes presentes; e clamidióforos muito ramificados, semelhantes a arbustos, de forma piramidal (Samuels, 1996).

Trata-se de fungos saprófitas, hábeis a crescer em uma ampla variedade de substratos e que têm grande capacidade biossintética, notada pela capacidade de a maioria de suas espécies em se desenvolver em substratos simples. Algumas espécies apresentam a característica de serem cosmopolitas (como o *T. harzianum*) e outras apresentam a sua distribuição geográfica mais restrita (a exemplo do *T. viride*) (Samuels, 2006).

O gênero *Trichoderma* é representado por uma grande variedade de espécies e cepas, tendo cada uma exigências ambientais variadas, podendo coexistir em determinados ambientes (Louzada et al., 2009).

O fator ambiental que tem maior influência na distribuição dessas espécies é a temperatura. Algumas espécies como *T. oiride*, *T. polysporum* e *T. minutisporum* são adaptadas a regiões mais frias, tendo temperaturas ótimas a aproximadamente 7°C. Outras

são mais adaptadas a temperaturas mais elevadas, como *T. koningii* e *T. hamatum* (até 35°); e *T. harzianum* (até 38°C) (Rezende, 2011).

Outros fatores que influenciam a distribuição desses organismos são: umidade do solo, teor de nutrientes, tipo de solo, microbiota presente, aeração e teor de matéria orgânica (Danielson & Davey, 1973).

Esses fungos atraem grande atenção da comunidade científica atualmente graças ao controle efetivo de um amplo espectro de fitopatógenos promovido por eles (Harman et al., 2004; Dubey et al., 2007; Hermosa et al., 2012; Sriram et al., 2013).

Esse controle é resultado de ações diretas ou indiretas. As ações diretas são resultado da produção de enzimas que degradam a parede celular de outros fungos e da produção de substâncias antibióticas. As ações indiretas são ligadas à competição por espaço e nutrientes, à mudança do ambiente no qual o fungo está inserido, à promoção de crescimento das plantas, à ativação do sistema de defesa da planta e à disponibilização de nutrientes à planta (Naseby et al., 2000; Benítez et al., 2004; Vos et al., 2015; Zhang et al., 2016).

Além disso, eles são organismos que têm características muito interessantes para o biocontrole. Isso acontece por eles não ocasionarem impactos negativos no ambiente, apresentarem estruturas de reprodução de fácil propagação e serem capazes de sobreviverem em ambientes desfavoráveis, contendo patógenos em condições de solo variadas (Vinale et al., 2008; Rezende, 2011).

2.4.1 Ação como antagonista de fitopatógenos

Os fungos do gênero *Trichoderma* têm importante ação com antagonistas de outros microrganismos, principalmente de fungos, tendo uma ação direta sobre eles. Esse seu alto potencial antagonístico a uma ampla gama de hospedeiros faz com que ele tenha destaque no controle biológico. Dentre os organismos antagonizados por ele, encontra-se fungos de grande importância para a agricultura, como o *Botrytis cinerea*, *Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia sclerotiorum* (Sarma et al., 2014).

Os mecanismos de ação direta em patógenos ocasionados por *Trichoderma* spp. são a competição por nutrientes e espaço, o micoparasitismo e a antibiose. Esses processos podem ocorrer de maneira isolada ou em conjunto, de maneira sinérgica (Silva et al., 2019).

A competição acontece quando dois ou mais organismos ocorrem em um mesmo local (substrato) e disputam por nutrientes, espaço e água (Benítez et al., 2004). Fungos do gênero *Trichoderma* se estabelecem em solos como um dos componentes dominantes da microflora. Isso acontece graças à sua acelerada capacidade metabólica e à sua elevada taxa reprodutiva (Kubicek et al., 2008; Lopes et al., 2012).

Em associação a isso, esses fungos são extremamente tolerantes a uma grande quantidade de compostos tóxicos, como os liberados pelo metabolismo secundário das plantas e até fungicidas sintéticos, muito utilizados na agricultura (Chet & Inbar, 1994; Harman, 2006).

Outro mecanismo muito importante e característico do *Trichoderma*, fazendo com que ele tenha grande importância é o micoparasitismo. Trata-se da capacidade de ele parasitar outros fungos, em uma relação hiperparasita, ou seja, se nutrindo de organismos que são parasitas de outros organismos (Machado et al., 2012).

Esse processo é realizado em 4 estágios distintos: o primeiro é o crescimento das hifas do hiperparasito rumo ao outro fungo, esse crescimento é guiado com o estímulo químico, geralmente por metabólitos secundários liberados pelo fungo a ser hiperparasitado (Figura 3a); o segundo é o reconhecimento específico, mediado pelas lectinas presentes nas paredes tanto do patógeno quanto do antagonista; o terceiro é o ataque e enrolamento das hifas do antagonista no patógeno (Figura 3b); por fim, há a secreção de enzimas que degradam a parede celular do hospedeiro (Vinale et al., 2008; Silva et al., 2019).

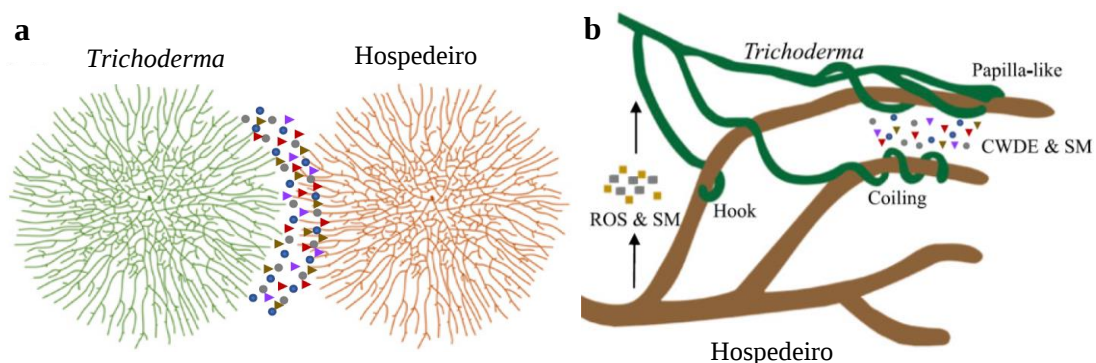


Figura 3-Ação micoparasita do *Trichoderma*. (A) Atração e contato das hifas dos dois fungos. (B) Interação íntima entre o antagonista e o patógeno. ROS, espécie reativa de oxigênio. SM, metabólitos secundários. CWDE, enzimas de degradação da parede celular. Fonte: Guzmán-Guzmán et al., 2018.

Essas enzimas de degradação da parede celular são, de uma forma geral, glucanases, quitinases e proteases (Monteiro et al., 2010; Naher et al., 2014). Após a degradação realizada por elas, o fungo absorve os nutrientes liberados pelo patógeno.

O terceiro método de ação antagônica é a antibiose. Ela se baseia na liberação de compostos voláteis ou não-voláteis, que agem de forma a impedir a colonização do substrato por outros microrganismos. No *Trichoderma*, destaca-se metabólitos secundário liberados que têm baixo peso molecular e antibióticos (Schirmböck et al., 1994; Vey et al., 2001; Mendóza et al., 2015).

Esses compostos são difundidos no meio de cultura e agem no organismo-alvo, inibindo o seu crescimento micelial, desorganizando as células e provocando a degradação de hifas de alguns fungos (Ahmed et al., 2003). Howell (2003) observou que moléculas liberadas por fungos do gênero *Trichoderma* como as pironas, isocianatos, trichocinas e alguns peptídeos inibem o crescimento de *Fusarium oxysporum*.

Varia para cada espécie a capacidade de antagonismo com cada um desses modos de ação, porém sabe-se que normalmente esses modos de ação coexistem, aumentando ainda mais a eficácia de controle de patógenos do gênero e reduzindo o risco de seleção de patógenos resistentes.

2.4.2 Ação como indutor de resistência em plantas

As plantas são capazes de perceber danos em seus tecidos, identificar os agentes causadores e reprogramar o seu metabolismo, gerando sinais. Esses sinais induzem mecanismos de resistência na própria planta e fazem com que ela se defenda (Walters & Fountaine, 2009; Stangarlin et al., 2011; Niranjana Raj et al., 2012).

Essa defesa pode ser específica ou inespecífica. No caso das específicas, genes de resistência da planta fazem com que sejam formadas proteínas que reconhecem o gene de avirulência do patógeno (Piquerez et al., 2014). Assim, a planta pode responder rapidamente com uma resposta de hipersensibilidade.

Quando a defesa é inespecífica, a planta reconhece padrões moleculares associados a microrganismos (MAMPs) ou padrões moleculares associados a danos (DAMPs) e ativam a resistência basal ou poligênica. Essa resposta é mais lenta e não específica (Jones & Dangl, 2006; Spoel & Dong, 2012).

Os vegetais, ao serem estressados por alguns fatores bióticos ou abióticos passam a ter a resistência induzida. Essa resistência pode se dar por duas vias metabólicas: a resistência sistêmica adquirida (SAR) e a resistência sistêmica induzida (ISR) (Choudhary et al., 2007).

A primeira (SAR) é acionada por microrganismos patogênicos (ou alguns não patogênicos). Ela depende da via de sinalização do ácido salicílico. O acúmulo desse composto tanto local quanto sistematicamente é percebido pela proteína reguladora NPR1. Após essa percepção, ela ativa a produção de proteínas-RP, que se acumulam nos tecidos (Walters & Fountaine, 2009).

Já a segunda (ISR), é acionada por microrganismos benéficos. Ela requer as vias de sinalização do etileno e do ácido jasmônico. Ela é caracterizada por ser uma resistência a um amplo espectro de patógenos, podendo atuar até quando há estresses abióticos (O'Brien, 2017).

Os fungos do gênero *Trichoderma* atuam na resistência de plantas com um efeito denominado “*priming*”. Esse efeito é a entrada da planta em um estado de alerta e resposta a patógenos de uma forma mais rápida quando parasitada. Forma-se uma resistência induzida de longa duração, como um tipo de memória. É interessante destacar que o *priming* tem um custo extremamente baixo para a planta, sendo muito vantajoso a ela (Bruce et al., 2007; Conrath et al., 2011; Holeski et al., 2012).

Há evidências que o *priming* induzido por *Trichoderma* spp. atua nas três vias de defesa discutidas. Isso acontece pelo fato de esse fungo liberar DAMPs, que ativam a linha de defesa inespecífica e por ele liberar outras substâncias que ativam tanto o ISR quanto o SAR (Meirelles, 2014).

2.4.3 Ação como promotor de crescimento de plantas

Recentemente, *Trichoderma* spp. passou a chamar ainda mais atenção de produtores, extensionistas e pesquisadores devido a sua ação promotora de crescimento em plantas (Woo et al., 2014; Colla et al., 2015; Lorito & Woo, 2015).

Uma série de processos que ocorrem na rizosfera fazem com que esses organismos proporcionem um maior crescimento das plantas que habitam. Exemplos de efeitos ocasionados por *Trichoderma* com a ação promotora de crescimento são: disponibilização de nutrientes no solo, mudança no crescimento e na arquitetura radicular, produção de metabólitos secundários que atuam como os hormônios das plantas, exsudação de moléculas similares à auxina e outros compostos orgânicos que estimulam o crescimento radicular (Vinale et al., 2008; Sofo et al., 2012; Pelagio-Flores et al., 2017).

Além disso, há relatos da mudança do pH na rizosfera graças ao *Trichoderma*, aumentando a capacidade de absorção de certos nutrientes pela planta, aumentando o seu crescimento e produtividade (Sofo et al., 2012; Pelagio-Flores et al., 2017).

Outro resultado encontrado com o uso desse fungo é o controle de radicais livres na planta. Quando plantas passam por estresses bióticos ou abióticos, elas tendem a produzir espécies reativas de oxigênio (ROS), principalmente o O_2^- e o H_2O_2 . A baixas concentrações, as ROS atuam como sinalizadores das plantas (Zhang et al., 2008). No entanto, o acúmulo excessivo delas provoca o estresse oxidativo e a morte celular (Sharma et al., 2012).

Zhang et al. (2016) encontraram níveis mais baixos de ROS em folhas de soja atacadas por *S. sclerotiorum* quando as plantas eram inoculadas com *T. harzianum* com relação ao controle. Isso foi relacionado com o maior nível de enzimas antioxidantes observados nas plantas inoculadas. Resultados semelhantes foram observados por Wang et al. (2009).

Zhang et al. (2016) observaram também incrementos de compostos fenólicos em plantas inoculadas com *T. harzianum*. Esses compostos têm grande atividade antioxidante, reduzindo o estresse de plantas.

Outra ação benéfica observada é o aumento de níveis clorofila em plantas e a maior elongação foliar. Isso resulta em maior eficiência fotossintética da planta e assim, maior acúmulo de fotoassimilados, o que aumenta produtividades finais (Harman et al., 2019).

2.5 Cenoura

A cenoura (*Daucus carota*) é um vegetal da família *Apiaceae*. Ela é considerada a espécie de maior interesse econômico nessa família. Seus centros de diversidade primária e secundária são, respectivamente, o Afeganistão e o sudoeste asiático. Sua domesticação foi realizada no Mediterrâneo Oriental (Stolarkzyk & Janick, 2011).

O principal produto dessa planta é a sua raiz comestível. Trata-se de uma raiz pivotante, tuberosa e lisa. Ela não apresenta muitas ramificações na parte superior, mas pode ter algumas ramificações na parte inferior. Ela pode ser cônica ou cilíndrica e ter diferentes cores, de acordo com o cultivar (Rocha, 2003).

Inicialmente utilizada como medicinal e gradativamente sendo utilizada como alimento (Dias, 2014), a raiz da cenoura apresenta uma série de características

nutracêuticas importantes. Os principais componentes que atribuem a ela essas características são os carotenoides, ácidos fenólicos, vitaminas, minerais e fibras. Dessa forma, ela é um alimento de grande destaque quando se diz respeito à alimentação saudável (Resende & Braga, 2014).

De acordo com os dados do IBGE, o Brasil produziu, em 2015, 760'600 toneladas de cenoura. A área total de produção foi de 24'100 hectares. Dessa forma, a produtividade média foi de 31,6 toneladas por hectare. O principal produtor é o estado de Minas Gerais, produzindo 37% do total do país. Outros grandes produtores são Paraná e Santa Catarina (Carvalho & Kist, 2016).

A cultura da cenoura tem um ciclo que vai de 80 a 130 dias, variando conforme as condições ambientais, tratamentos culturais e condições climáticas (Puiatti et al., 2007). Após a germinação, a raiz tem grande crescimento primário, atingindo o comprimento ideal entre o 12º e 24º dia após a emergência. Posteriormente, a raiz passa para o crescimento secundário (Rubatzky & Yamaguchi, 1999).

As raízes são colhidas em estado imaturo de acordo com a escolha do produtor. O mercado brasileiro tem uma preferência por raízes que vão de 16 a 22cm, portanto, a colheita é realizada quando elas apresentam esse comprimento (Filgueira, 2008). Dessa forma, técnicas culturais que façam com que a raiz alcance esse estado mais precocemente são vantajosas ao agricultor, reduzindo custos.

Outro aspecto muito importante na produção da cenoura é a sua fitossanidade. Por se tratar de uma raiz tuberosa, a ocorrência de patógenos habitantes do solo é muito importante e pode causar grandes perdas ao agricultor.

Uma dessas doenças é o tombamento, ou “*damping-off*”, causado por um complexo de patógenos composto por *Alternaria radicina*, *Alternaria dauci*, *Colletotrichum* spp., *Xantomonas campestris* pv. *Carotae*, *Rhizoctonia solani* e *Pythium* spp.. Essa doença causa a morte de plântulas ou de plantas jovens, reduzindo o estande das áreas produtoras. Ela pode causar grandes danos e tem importância por causar danos em outras hortícolas, como no tomateiro e na beterraba (Amorim et al., 2016).

Outra doença que ocorre nas raízes resultante de patógenos de solo é a bifurcação por *Pythium* spp. e por *Fusarium oxysporum*. Ela se manifesta geralmente em condições de anaerobiose do solo (geralmente com o excesso hídrico) e é causada pela infestação do agente patogênico no ponto de crescimento da raiz, que perde a dominância apical e bifurca (Chaput, 1998; Amorim et al., 2016). Tal bifurcação faz com que a raiz não seja

aceita pelo mercado, representando uma perda ao agricultor. É importante ressaltar que ela é muito confundida no Brasil com a bifurcação por impedimentos físicos.

Dessa maneira, o uso do *Trichoderma* na cultura da cenoura pode ser uma prática interessante, uma vez que, ele tem ações como promotor de crescimento das plantas, reduzindo o ciclo total e que ele pode agir com antagonista dessas doenças antes citadas. No Brasil, ele ainda não é amplamente utilizado por produtores de cenoura, mas alguns produtores mais tecnificados fazem o seu uso via tratamento de sementes, via *drench* (aplicação no solo) e também via aplicação em sulco de plantio (Henz et al., 2016).

3 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi estudar os efeitos tanto como antagonistas, quanto como promotores de crescimento de diferentes cepas do fungo do gênero *Trichoderma* aplicados sob a forma de *drench* em uma área de produção comercial de cenoura. Como cada cepa apresenta métodos de ação na planta que podem variar, objetiva-se estudar e definir os efeitos de cada uma dessas cepas e também estudar o efeito dessas cepas aplicadas em conjunto, a fim de analisar uma possível interação entre esses organismos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda Fanecos, no município de Nova Ponte-MG, localizada sob latitude 19,39° S, longitude 47,72° W e altitude de 995 m. Nesse local, o solo é classificado como um latossolo vermelho-amarelo de textura média. A área era irrigada por um pivô central de 70 ha. Anteriormente nessa área, havia sido cultivado batata (*Solanum tuberosum*), algumas plantas voluntárias dessa cultura foram observadas ao longo do experimento, mas em baixas populações, sendo controladas com o arranquio manual.

A adubação de plantio foi feita na área em questão com 1 tonelada por hectare do adubo formulado 03-25-06 e com 1 t/ha de superfosfato simples (00-23-00), totalizando 30kg/ha de N, 480 kg/ha de P₂O₅ e 60 kg/ha de K₂O. Posteriormente, foram feitas outras aplicações por fertirrigação de cloreto de potássio (500 kg/ha no total), de fosfato monoamônico (40kg/ha no total) e de um produto de origem orgânica com 16% de N, 3% de K₂O e 17% de S (200kg/ha no total). Essas aplicações contribuíram com 36kg/ha de N, 18 kg/ha de P₂O₅, 321 kg/ha de K₂O e 34 kg/ha de S.

O preparo do solo consistiu primeiramente na gradagem profunda (discos de 34 pol), seguida da subsolagem a 40 cm de profundidade, destorroamento do solo por enxada rotativa e formação de canteiros com uma enxada rotativa com esse objetivo. O canteiro apresentava 1,78 m de largura e 25 cm de altura.

A semeadura foi realizada no dia 04/09/2019, com uma semeadora de precisão de 3 linhas. As sementes utilizadas foram de cenouras do híbrido Verano F1 (Vilmorin). Esse híbrido é originado do cruzamento de plantas dos tipos varietais “Brasília” e “Nantes”. Dessa forma, é uma variedade indicada para o cultivo no verão, produzindo raízes cilíndricas e tendo um ciclo de aproximadamente 115 dias. As sementes utilizadas no experimento foram peletizadas e apresentaram uma germinação de 90%. A população semeada foi de 646 mil sementes por hectare, ou seja, foram semeadas 115 sementes por metro linear de canteiro.

Logo em seguida à semeadura, foi realizada a implantação do experimento com a aplicação dos tratamentos. Para isso, utilizou-se uma bomba costal da marca Jacto e modelo PJH, com uma pressão de trabalho de 100psi. O bico utilizado foi um bico leque (110.03), com uma abertura de 110° e com uma vazão aferida de 16,6ml/s. Depois da aplicação, foi realizada a irrigação com uma lâmina de 3,5mm para que o produto fosse incorporado no solo.

No experimento, foram aplicados 8 tratamentos, de maneira que se testasse 3 produtos comerciais de *Trichoderma* spp. de diferentes cepas de forma isolada ou em conjunto. Cada tratamento foi realizado em 5 metros lineares de canteiro, tendo cada uma área de 8,9m², foram feitas 3 repetições para cada tratamento. Os tratamentos aplicados estão apresentados na Tabela 1, juntamente com os códigos utilizados e com o nome comercial dos produtos.

Tabela 1- Tratamentos utilizados no experimento e organismos aplicados em cada

Código	Tratamento
T0	Controle
T1	<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai ESALQ-1306
T2	<i>Trichoderma asperellum</i> BV-10
T3	<i>Trichoderma asperellum</i> SF-04
T4	<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai ESALQ-1306 + <i>Trichoderma asperellum</i> BV-10
T5	<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai ESALQ-1306 + <i>Trichoderma asperellum</i> SF-04
T6	<i>Trichoderma asperellum</i> BV-10 + <i>Trichoderma asperellum</i> SF-04
T7	<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai ESALQ-1306 + <i>Trichoderma asperellum</i> BV-10 + <i>Trichoderma asperellum</i> SF-04

Esses organismos foram obtidos a partir de produtos comerciais de diferentes empresas. O nome desses produtos comerciais e a dose de aplicação indicada na bula estão contidos na Tabela 2.

Tabela 2-Nomes comerciais e doses indicadas de cada organismo utilizado no experimento

Organismo	Nome comercial	Dose
<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai ESALQ-1306	Trichodermil SC 1306	1 l/ha
<i>Trichoderma asperellum</i> BV-10	Tricho-turbo EC	0,8 l/ha
<i>Trichoderma asperellum</i> SF-04	Quality WG	100 g/ha

As doses utilizadas no experimento foram as mesmas indicadas na bula dos produtos. Dessa forma, foi calculada a quantidade de produto comercial necessária para cada tratamento e em seguida foi realizado o cálculo da concentração da calda de modo a se padronizar o tempo de aplicação. Esses dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3-Dose de aplicação por parcela, concentração do produto comercial na calda e tempo de aplicação por parcela

Organismo	Dose por tratamento	Produto comercial por 10 l	Tempo de aplicação por tratamento
<i>T. harzianum</i> Rifai ESALQ-1306	0,875 ml	25 ml	21 segundos
<i>T. asperellum</i> BV-10	0,7 ml	20 ml	21 segundos
<i>T. asperellum</i> SF-04	0,0875g	5g	15 segundos

O experimento foi conduzido com base no manejo do produtor rural, com exceção das aplicações dos produtos biológicos para o controle de doenças e condicionamento de solo. O manejo da irrigação foi inicialmente de duas irrigações por dia de 3,5 mm (uma

noturna e uma no período matutino) e posteriormente de aplicações de 12 mm com base na análise tátil.

No dia 21/09/2019 (17 dias após a semeadura) foi realizada a análise de germinação. Nessa análise, foi contada a quantidade de plantas viáveis apresentando as duas folhas cotiledonares bem formadas e com ausência de anomalias. A contagem foi realizada nos dois metros centrais de cada tratamento. Em seguida, o número obtido foi dividido por dois e assim obteve-se o número de plantas viáveis por metro linear de canteiro.

A colheita das plantas foi realizada no dia 09/11/2019 (66 DAS). Essa colheita foi realizada de forma precoce pela necessidade de se ter os resultados do trabalho dentro do prazo de término do período escolar. Foram colhidos os 3 metros centrais do canteiro, descartando-se os dois metros laterais de forma a se evitar a contaminação por outros tratamentos.

Todas as plantas colhidas foram contadas, agrupando-se elas em maços de 10 plantas a fim de se facilitar a contagem, foram contadas também as plantas com anomalias morfológicas e as plantas vindas de sementes de baixo vigor (chamadas popularmente de “dominadas”). Em seguida, 3 desses maços de plantas viáveis foram escolhidos ao acaso e analisou-se o comprimento de folhas, comprimento de raiz, diâmetro de raiz, massa fresca total das raízes e massa fresca total das folhas. Com isso pôde-se obter o valor médio desses atributos e pôde-se fazer a extrapolação do peso a fim de se obter a produtividade total de cada tratamento, utilizando-se a equação 1.

$$Prod (t/ha) = \frac{Mr(g).Pp}{30.100.Lc(m)}$$

Em que:

Prod é a produtividade calculada em toneladas por hectare;

Mr é a massa total em gramas de raízes das 30 plantas estudadas;

Pp é a população de plantas viáveis em um metro linear de canteiro;

Lc é a largura do canteiro.

Os tratamentos foram dispostos no delineamento em blocos, sendo cada bloco um canteiro, tendo em vista atenuar o efeito diferencial da variação de manejo (regulagem de implementos e variação na irrigação) em cada canteiro. Os dados foram analisados estatisticamente utilizando-se o software R (R core team, 2015). Empregou-se a análise de variância (ANOVA) a fim de se observar se havia diferença significativa entre os

tratamentos e o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância para constatar a normalidade dos resíduos. Confirmando-se isso, realizou-se o teste de Fisher (Teste de diferença mínima significativa - LSD) com o nível de significância de 10% a fim de se analisar a diferença dos valores de cada tratamento.

Ressalta-se que esse é o segundo ensaio realizado no experimento. O primeiro foi feito em uma outra propriedade agrícola que havia tido uma cultura de trigo mourisco anteriormente. Larvas de insetos da ordem Diptera que estavam alojadas em plantas voluntárias dessa cultura migraram para plântulas de cenoura recém-germinadas e causaram a morte delas. Dessa forma, o estande ficou irregular e o ensaio teve de ser abandonado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Germinação

O número de plantas germinadas observado 17 dias após a semeadura não diferiram estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 4). É possível afirmar que esses números foram estáveis não variando muito entre os tratamentos, o que pode ser confirmado pelo baixo coeficiente de variação obtido.

Os índices obtidos foram um pouco abaixo do que foi obtido nos testes de germinação de laboratório (90%), mas essa redução não foi muito drástica.

Dessa forma, pode-se dizer que a cultura na área não sofreu grandes danos por *damping-off*, causadas por *R.solani*, *A. radicina*, *Pythium* spp., entre outros. Assim, é muito provável que a área não estivesse contaminada a níveis drásticos com esses patógenos. Isso pode ser explicado pelo fato dessa área nunca ter sido utilizada para o cultivo de cenoura anteriormente e por praticar a rotação de culturas de forma eficiente, reduzindo o inóculo de patógenos habitantes do solo (Sedyama, et al., 2014).

Como não foram observadas doenças devidos a esses patógenos nessa fase inicial, o efeito de antagonismo a patógenos proporcionado por *Trichoderma* spp. não foi observado.

Tabela 4-Número de plantas germinadas nos diferentes tratamentos em um metro de canteiro

Tratamento	Número de plantas germinadas
T1	99,83 ^{n.s.}
T2	98,17
T6	97,17
T5	95,83
T4	95,33
T7	95,17
T0	94,5
T3	92,5
CV	4,15%

Teste de Fisher (LSD) a 10% de significância.

5.2 População de plantas

Com relação às populações das plantas colhidas no final do experimento (66 DAS), pode-se observar que houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5). Naturalmente, as populações obtidas são menores que a taxa de germinação, uma vez que algumas plantas sofreram danos de pragas e doenças ao longo do ciclo produtivo.

Deve-se ressaltar que tanto o tratamento em que foram aplicados os três produtos à base de *Trichoderma* (T7), quanto o tratamento em que foram aplicados *T. harzianum* Rifai ESALQ-1306 e *T. asperellum* SF-04 em conjunto (T5), quanto o controle (T0) obtiveram as maiores médias, diferindo significantemente do tratamento em que foi aplicado somente *T. harzianum* Rifai ESALQ-1306 (T1) e *T. harzianum* Rifai ESALQ-1306 em conjunto com *T. asperellum* BV-10 (T4).

Assim, por mais que a maior média tenha sido obtida com a aplicação dos três produtos em conjunto, não é possível concluir que o uso de produtos à base de *Trichoderma* via *drench* permitiram a manutenção da população de plantas de cenoura em campo. Pode ser proposto que os fatores que reduziram a população não eram necessariamente devido aos patógenos de solo, outros fatores bióticos e abióticos podem ter causado esse efeito, como nematoides, pragas e estresse hídrico.

Tabela 5-Médias da população final de plantas obtida no experimento em 1 metro de canteiro

Tratamento	População final	Grupo
T7	90,11	a
T5	88,78	a
T0	87,67	a
T6	87,11	ab
T2	86,89	ab
T3	85,67	ab
T1	80,89	bc
T4	78,56	c
CV	5,33%	

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Fisher a 10% de significância.

5.3 Sanidade das raízes

Ao longo da análise foram observadas raízes com sintomas típicos de *Pythium* spp. e de *R. solani*, no solo, como a bifurcação e a formação de raízes secundárias (Figura 4), conforme descrito por Chaput (1998) e Amorim et al. (2016).



Figura 4-Exemplo de raízes com sintomas típicos de ataque de *Pythium* spp. e *R. solani* obtidas durante a análise

A ocorrência desses sintomas, no entanto, foi bem distribuída entre os tratamentos, de forma que não houvesse diferença significativa entre eles (Tabela 6). Dessa forma, observa-se que os produtos à base de *Trichoderma* aplicados via *drench* nas doses

indicadas na bula não tiveram efeito no controle desses patógenos em plantas adultas de cenoura.

Tabela 6- Índice de ocorrência de anomalias em plantas ligadas a fungos habitantes do solo por metro de canteiro

Tratamento	Plantas com sintomas
T0	1,56 ^{n.s.}
T1	1,44
T2	1
T3	0,89
T4	1,77
T5	2,22
T6	1,22
T7	1,33
CV	52%

Teste de Fisher (LSD) a 10% de significância;

5.4 Características morfológicas

A tabela 6 demonstra os valores obtidos por meio das avaliações realizadas na amostra de raízes obtida aleatoriamente. Deve-se ressaltar que essas são medidas de raízes colhidas antes da data em que elas normalmente são colhidas, apresentando assim valores incompatíveis com o que é considerado como comercial no Brasil.

Tabela 7-Dados morfológicos das amostras de cenoura obtidas

Tratamentos	C.raiz (cm)	Grupo	C.folhas (cm)	Diâmetro (cm)
T0	14,97	bcd	38,62 ^{n.s.}	1,94 ^{n.s.}
T1	15,50	ab	38,62	1,93
T2	14,89	d	39,06	1,92
T3	14,87	cd	38,86	1,94
T4	15,62	a	38,23	1,94
T5	15,14	abc	38,33	2,00
T6	15,08	abcd	39,63	1,96
T7	15,44	abc	37,66	1,93
CV(%)	2,87		2,23	3,16

P. fresco		P.fresco folha (g)	
Tratamentos	raiz (g)		
T0	883,3 ^{n.s.}	575 ^{n.s.}	
T1	945,0	565	
T2	870,0	560	
T3	886,7	530	
T4	935,0	551	
T5	960,0	551	
T6	930,0	610	
T7	988,0	543	
CV(%)	5,89	7,87	

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Fisher (LSD) a 10% de significância.

Observa-se que há diferenças estatisticamente significativas nas amostras de cenoura com relação ao comprimento da raiz. O tratamento 4, no qual foi aplicado em conjunto *T. harzianum* Rifai ESALQ-1306 e *T. asperellum* BV-10 apresentou os maiores comprimentos de raízes, sendo significativamente maiores que no controle, e com aplicações de *T. asperellum* BV-10 e *T. asperellum* SF-04 isoladamente. Constatou-se também que o tratamento com a aplicação de *T. harzianum* Rifai ESALQ-1306 isolado produziu plantas com raízes mais longas que os outros dois tratamentos com os fungos aplicados isoladamente.

Deve-se ressaltar, no entanto, que esses dois tratamentos que tiveram os maiores valores são os mesmos tratamentos que tiveram as menores populações obtidas no final. Assim, propõe-se que a população final teve um efeito importante sobre o comprimento das raízes, sendo esses fatores inversamente proporcionais. Isso pode ser explicado pelo efeito de competição intra-específica das plantas causado pelo aumento das populações de plantas (Coelho et al., 2001; Barros Junior, 2004; Lopes et al., 2008).

É interessante observar, no entanto, os tratamentos 5 e 7, que tiveram médias significativamente iguais aos tratamentos anteriormente citados e médias significativamente maiores que o tratamento 2. Esses dois tratamentos foram os que apresentaram maiores populações de plantas, mas ao mesmo tempo tiveram comprimentos de raízes importantes. Dessa forma, eles indicam que os produtos à base de *Trichoderma* possam ter um efeito no comprimento das raízes de cenoura, no entanto, mais pesquisas devem ser realizadas para avaliar se esse efeito realmente ocorre.

5.5 Produtividade calculada

Com a produtividade calculada baseada nos fatores medidos no experimento obteve-se médias que são significativamente diferentes para os tratamentos. Esses resultados estão apresentados na figura 5.

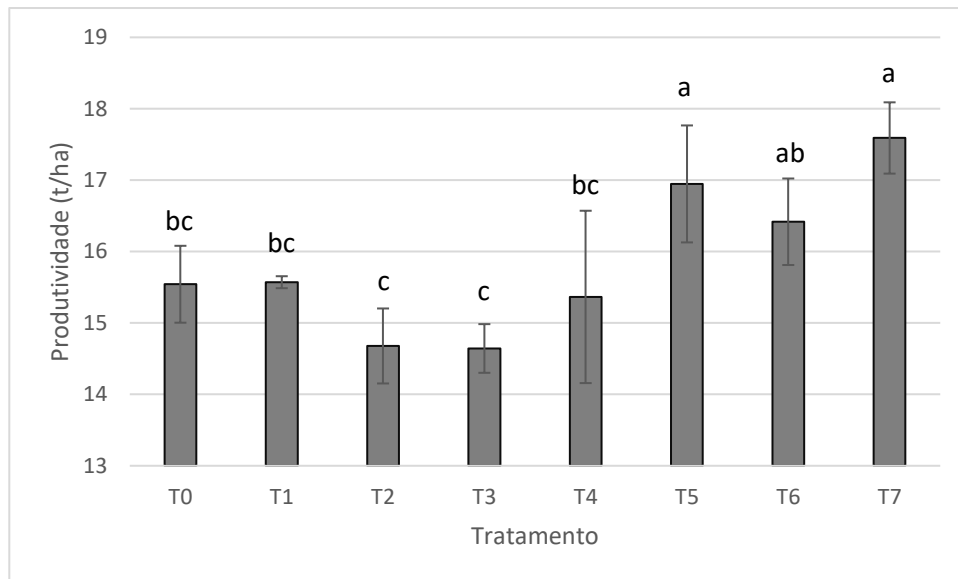


Figura 5–Gráfico com os valores obtidos para a produtividade calculada, médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Fisher (LSD) a 10% de significância.

Observou-se que os tratamentos 7 (todas as 3 cepas de *Trichoderma*) e 5 (*T. harzianum* Rifai ESALQ-1306 e *T. asperellum* SF-04 em conjunto) apresentam produtividades maiores que dos demais tratamentos, assim como do controle. Esses são os mesmos tratamentos que apresentaram comprimentos consideráveis, mesmo estando em maiores populações. O tratamento com as maiores médias, que foi o que se aplicou todos os três organismos em conjunto (T7) apresentou produtividades 14% maiores que o controle.

Além disso, o tratamento T6, que apresenta a mistura de duas cepas de *Trichoderma* foi significativamente superior aos T2 e T3, que utilizaram as mesmas cepas do primeiro, porém de forma isolada.

Esses resultados dão evidências de que o uso do *Trichoderma* na cultura da cenoura possa fazer com que a produtividade seja incrementada. Além disso, há evidências de que a mistura de cepas fez com que as produtividades sejam ainda maiores. Deve-se analisar melhor se esse aumento de produtividade foi realmente devido à mistura de cepas ou se ele foi decorrente da maior dose aplicada nesses tratamentos. Um outro experimento deveria ser realizado equilibrando as doses de cada tratamento, uma vez que nos tratamentos T1, T2 e T3, foi realizada uma aplicação, em T4, T5 e T6 houve 2 aplicações e em T7, foram feitas 3 aplicações.

No entanto, esses resultados mostram que quanto maior a dose de *Trichoderma* aplicado, maiores as produtividades.

Além disso, esses resultados levam ao questionamento se a dose indicada na bula do produto é realmente a indicada para essas condições, uma vez que a dose simples não diferiu estatisticamente do controle.

6 CONCLUSÃO

Com base na literatura, é possível afirmar que o uso de *Trichoderma* spp. em sistemas de cultivo agrícola é extremamente interessante pelas ações de antagonista de doenças, indutor de resistência e promotor de crescimento proporcionadas por esse organismo.

Os resultados obtidos nesse experimento evidenciam que produtos à base de *Trichoderma* spp. têm efeito positivo no comprimento de raízes de cenoura, assim como na produtividade calculada para essa cultura.

Foi observado também que esse efeito foi intensificado à medida em que se adicionou diferentes espécies e cepas em conjunto via *drench* nas linhas de cultivo.

O efeito antagonista de doenças não foi observado devido à baixa infestação dos solos por patógenos que causariam sintomas nas plantas. Seria interessante realizar outros estudos na cultura da cenoura em solos infestados com esses patógenos para analisar melhor esse efeito do *Trichoderma*.

Além disso, poderiam ser realizados estudos similares a esse para analisar o efeito de interação de outros organismos que apresentam efeitos comprovadamente positivos no crescimento de plantas, como o *Azospirillum brasilense* e *Pochonia chlamydosporia*.

O melhor conhecimento da ação desses organismos em plantas permitiria uma agricultura mais racional e resiliente, gerando maiores lucros aos produtores e menores riscos à sociedade e ao meio-ambiente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROFIT. Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento., 2019. Acesso em: 30/09/2019.

AHMED, A.S., EZZIYYANI, C., SÁNCHEZ, C.P., CANDELA, M.E. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp. and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annuum*) plants. **European Journal of Plant Pathology**, 109: 633-637. 2003.

- AMBRÓSIO, M. M. D. Q., BUENO, C. J., PADOVANI, C. R., SOUZA, N. L. D. Controle de fitopatógenos do solo com materiais vegetais associados à solarização. **Summa phytopathologica**, p. 354-358, 2008.
- AMORIM, L., REZENDE, J. A. M., BERGAMIN FILHO, A., CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia**. 5.ed, Ouro Fino-MG, 2016. 810p.
- BARBOSA, J. Z., CONSALTER, R., VEZZANI, F. M., MOTTA, A. C. V. Bactérias e fungos benéficos na endosfera das plantas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p. 99-116, 2015.
- BARROS JÚNIOR A. P. Densidades populacionais das culturas componentes no desempenho agroeconômico do consórcio cenoura e alface em bicultivo em faixa. **Dissertação de Mestrado**. Escola Superior de Agricultura de Mossoró. 77p, 2004.
- BARROS, A.P.O., AMÂNCIO, L.C.S., MICHEREFF, S.J. Interação entre herbicidas e patógenos radiculares, com especial referência a *Rhizoctonia*. **Revista Anual de Patologia de Plantas**, v. 25, p. 99-111, 2017.
- BENÍTEZ, T., RINCÓN, A. M., LIMÓN, M. C., CODON, A. C. Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains. **International microbiology**, v. 7, n. 4, p. 249-260, 2004.
- BETTIOL, W. M. A. B., MORANDI, M. A. B. Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2009.
- BRUCE, T. J. A., MATTHES, M. C., NAPIER, J. A., PICKETT, J. A. Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. **Plant Science**, Watsonville, v. 173, p. 603–608, 2007.
- BUENO, V. H. P., LENTEREN, J. C. V. Predadores no Controle Biológico de Pragas: Sucessos e Desafios. **Defensivos Agrícolas Naturais**, p. 359, 2016.
- CARVALHO, C., KIST, B. B. Anuário brasileiro de hortaliças 2017– Santa Cruz do Sul: **Editora Gazeta Santa Cruz**, 2016. 56 p.
- CHAPUT, J. Identification and Management of Carrot Root Diseases. **Factsheet**, 1998.
- CHET I., INBAR J., HADAR I. Fungal antagonists and mycoparasites. The mycota IV: environmental and microbial relationships. **Springer-Verlag**, Berlin, p. 165-184, 1997.
- CHET, I., INBAR, J. Biological control of fungal pathogens. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 48, n. 1, p. 37-43, 1994.

- CHOUDHARY, D. K., PRAKASH A., JOHRI, B. N. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. **Indian Journal Microbiology**, New Delhi, v. 47, p. 289–297, 2007.
- COELHO C. M. B., CARVALHO T. D., LUZ J. M. Q., CARVALHO J. O. M. Adensamento de plantio para produção alternativa de minicenoura. In: 41º Congresso Brasileiro de Olericultura, Brasília. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 2, julho 2002. Suplemento 2 CD-ROM, 2001.
- COLLA, G., ROUPHAEL, Y., DI MATTIA, E., EL-NAKHEL, C., CARDARELLI, M. Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 8, p. 1706-1715, 2015.
- CONRATH, U. Molecular aspects of defence priming. **Trends in Plant Science**, Londres, v. 16, n. 10, p. 524-531, 2011.
- COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. In: **Microbiologia do Solo**. ESALQ: Piracicaba, p. 23-36, 2016.
- DANIELSON, R. M., DAVEY, C. B. Non nutritional factors affecting the growth of *Trichoderma* in culture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 5, n. 5, p. 495-504, 1973.
- DIAS, J. C. S. Nutritional and health benefits of carrots and their seed extracts. **Food and Nutrition Sciences**, v. 5, n. 22, p. 2147, 2014.
- DUBEY, S. C., SURESH, M., SINGH, B. Evaluation of *Trichoderma* species against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* for integrated management of chickpea wilt. **Biological control**, v. 40, n. 1, p. 118-127, 2007.
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Statistical Database., 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize> . Data de acesso: 03/10/2019.
- FIGUEIRA, E. P. P. Alterações fisiológicas, anatômicas e produtivas do feijoeiro induzidas por *Trichoderma* spp. e fosfito de potássio em resposta ao ataque de *Colletotrichum lindemuthianum*. 2018. pp. 118. **Tese de Doutorado**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2018.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: **Editora UFV**, 2008.

- FIorentino, N., VENTORINO, V., WOO, S. L., PEPE, O., DE ROSA, A., GIOIA, L., ROUPHAEL, Y. *Trichoderma*-based biostimulants modulate rhizosphere microbial populations and improve N uptake efficiency, yield and nutritional quality of leafy vegetables. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 743, 2018.
- FRACETO, L. F., MARUYAMA, C. R., GUILGER, M., MISHRA, S., KESWANI, C., SINGH, H. B., LIMA, R. *Trichoderma harzianum*-based novel formulations: potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 93, n. 8, p. 2056-2063, 2018.
- GOMES, E. V. Estudo de genes de *Trichoderma harzianum* associados ao micoparasitismo e seu papel no biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum*. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo, 2015.
- GUZMÁN-GUZMÁN, Paulina et al. *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. **Phytopathology**, v. 109, n. 1, p. 6-16, 2018.
- HARMAN, G. E. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. **Phytopathology**, v. 96, n. 2, p. 190-194, 2006.
- HARMAN, G. E. Seed treatments for biological control of plant disease. **Crop protection**, v. 10, n. 3, p. 166-171, 1991.
- HARMAN, G. E., DONI, F., KHADKA, R. B., UPHOFF, N. Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability. **Journal of applied microbiology**, 2019.
- HARMAN, G. E., HOWELL, C. R., VITERBO, A., CHET, I., LORITO, M. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature reviews microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43, 2004.
- HENZ, G. P., LOPES, C. A., REIS, A. Manejo de Doenças. In: **Cenoura: do plantio a colheita**. UFV: Viçosa, p. 98-123, 2016.
- HERMOSA, R., VITERBO, A., CHET, I., MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 17-25, 2012.
- HEYDARI, A., PESSARAKLI, M. A review on biological control of fungal plant pathogens using microbial antagonists. **Journal of Biological Sciences**, v. 10, n. 4, p. 273-290, 2010.

HOLESKI, L. M., JANDER, G., AGRAWAL, A. A. Transgenerational defense induction and epigenetic inheritance in plants. **Trends in ecology & evolution**, v. 27, n. 11, p. 618-626, 2012.

HOWELL, C.R. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant disease: the history and evolution of current concepts. **Plant Disease**, 87: 4-10, 2003.

JONES, J. D.G., DANGL, J. L. The plant immune system. **Nature**, v. 444, n. 7117, p. 323, 2006.

KUBICEK, C. P., KOMON-ZELAZOWSKA, M., DRUZHININA, I. S. Fungal genus *Hypocrea/Trichoderma*: from barcodes to biodiversity. **Journal of Zhejiang University Science B**, v. 9, n. 10, p. 753, 2008.

LOPES, F. A. C., STEINDORFF, A. S., GERALDINE, A. M., BRANDÃO, R. S., MONTEIRO, V. N., JÚNIOR, M. L., SILVA, R. N. Biochemical and metabolic profiles of *Trichoderma* strains isolated from common bean crops in the Brazilian Cerrado, and potential antagonism against *Sclerotinia sclerotiorum*. **Fungal Biology**, v. 116, n. 7, p. 815-824, 2012.

LOPES, W. D. A. R., DE NEGREIROS, M. Z., DA SILVA TEÓFILO, T. M., ALVES, S. S. V., MARTINS, C. M., DE SOUSA NUNES, G. H., GRANGEIRO, L. C. Produtividade de cultivares de cenoura sob diferentes densidades de plantio. **Revista Ceres**, v. 55, n. 5, p. 482-487, 2008.

LÓPEZ-BUCIO, J., PELAGIO-FLORES, R., HERRERA-ESTRELLA, A. *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 109-123, 2015.

LORITO, M., WOO, S. L. Discussion agronomic. **Principles of Plant-Microbe Interactions**, p. 345-353, 2015.

LOUZADA, G. D. S., CARVALHO, D. D. C., DE MELLO, S. C. M., LOBO JÚNIOR, M., MARTINS, I., BRAÚNA, L. M. Potencial antagônico de *Trichoderma* spp. originários de diferentes agroecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*. **Embrapa Arroz e Feijão**-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2009.

- MACHADO, D. F. M., PARZIANELLO, F. R., SILVA, A. C. F. D., ANTONIOLLI, Z. I. *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.
- MEIRELLES, G. B. Resistência induzida por *Trichoderma harzianum* em resposta a *Alternaria alternata* em tomateiro. Tese de Mestrado. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2014.
- MENDOZA, J. L. H., PÉREZ, M. I. S., PRIETO, J. M. G., VELÁSQUEZ, J. D. Q., OLIVARES, J. G. G., LANGARICA, H. R. G. Antibiosis of *Trichoderma* spp strains native to northeastern Mexico against the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina*. **Brazilian Journal of Microbiology** 46(4): 1093-1101, 2015.
- MONTEIRO, V. N., SILVA, R. N., STEINDORFF, A. S., COSTA, F. T., NORONHA, E. F., RICART, C. A. O., ULHOA, C. J. New insights in *Trichoderma harzianum* antagonism of fungal plant pathogens by secreted protein analysis. **Current microbiology**, v. 61, n. 4, p. 298-305, 2010.
- NAHER, L., YUSUF, U. K., ISMAIL, A., HOSSAIN, K. *Trichoderma* spp.: a biocontrol agent for sustainable management of plant diseases. **Pak. J. Bot**, v. 46, n. 4, p. 1489-1493, 2014.
- NASEBY, D. C., PASCUAL, J. A., LYNCH, J. M. Effect of biocontrol strains of *Trichoderma* on plant growth, *Pythium ultimum* populations, soil microbial communities and soil enzyme activities. **Journal of Applied Microbiology**, v. 88, n. 1, p. 161-169, 2000.
- NIRANJAN RAJ, A. S., LAVANYA, A. S. N., AMRUTHESH, A. K. N., NIRANJANA, A. S. R., REDDY, B. H. S. Histo-chemical changes induced by PGPR during induction of resistance in pearl millet against downy mildew disease. **Biological Control**, Orlando, v. 60, p. 90–102, 2012.
- NOZAKI, M. H., KLIEMANN, O. A. Avaliação do uso de fosfito no controle da antracnose em feijoeiro comum. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 31, p. 19-25, 2016.
- O'BRIEN, P. A. Biological control of plant diseases. **Australasian Plant Pathology**, Calyton, v. 46, n. 4, p. 293-304, 2017.

PEDRO, A. S., HARAKAVA, R., LUCON, C. M. M., GUZZO, S. D. Promoção do crescimento do feijoeiro e controle da antracnose por *Trichoderma* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n. 11, p. 1589-1595, 2012.

PELAGIO-FLORES, R., ESPARZA-REYNOSO, S., GARNICA-VERGARA, A., LÓPEZ-BUCIO, J., HERRERA-ESTRELLA, A. *Trichoderma*-induced acidification is an early trigger for changes in Arabidopsis root growth and determines fungal phytostimulation. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 822, 2017.

PIQUEREZ, S. J. M., HARVEY, E. S., BEYNON, J. L., NTOUKAKIS, V. Improving crop disease resistance: lessons from research on Arabidopsis and tomato. **Frontiers in Plant Science**, Rockville, v. 3, p. 1-13, 2014.

POMELLA, A. W. V., RIBEIRO, R. T. S. Controle biológico com *Trichoderma* em grandes culturas—uma visão empresarial. **Biocontrole de Doenças de Plantas**, p. 239, 2009.

PUIATTI, M., FINGER, F. L., VENZON, M. , PAULA JÚJIOR, T. J. Cenoura (*Daucus carota*). In : VENZON, M. , PAULA JÚJIOR, T. J. **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. Cap 29, p. 253-262.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2015. Acessado em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 11/11/2019.

RESENDE, G. M., BRAGA, M. B. Produtividade de cultivares e populações de cenoura em sistema orgânico de cultivo. **Embrapa Hortaliças**-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014.

REZENDE, A. A. Efficiency of different commercial products with *Trichoderma* spp. for the control of *Sclerotinia* stem rot of soybean. 133 p. **Dissertação de mestrado** Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

ROCHA, I. Produção da Cenoura (*Daucus carota* L.) Irrigada nas condições edafoclimáticas da região do Alto Paranaíba: Avaliação Econômica e Determinação do Coeficiente de Cultura. **Tese de Doutorado**. Viçosa, Brasil: UFV, 2003.

RUBATZKY, V. E.; YAMAGUCHI, M. World Vegetables, 2nd edd. **New York**: 831 p. 1999.

- SAMUELS, G. J. *Trichoderma*: a review of biology and systematics of the genus. **Mycological research**, v. 100, n. 8, p. 923-935, 1996.
- SAMUELS, G. J. *Trichoderma*: systematics, the sexual state, and ecology. **Phytopathology**, v. 96, n. 2, p. 195-206, 2006.
- SARMA, B. K., YADAV, S. K., PATEL, J. S., SINGH, H. B. Molecular mechanisms of interactions of *Trichoderma* with other fungal species. **Open Mycol J**, v. 8, p. 140-147, 2014.
- SCHIRMBÖCK, M., LORITO, M., WANG, Y.L., HAYES, C.K., ARISAN-ATAC, I., SCALA, F., HARMAN, G.E., KUBICEK, C.P. Parallel formation and synergism of hydrolytic enzymes and peptaibol antibiotics, molecular mechanisms involved in the antagonistic action of *Trichoderma harzianum* against phytopathogenic fungi. **Appl. Environ. Microbiol.** 60(2):4364–4370. 1994.
- SCHRANK, A., VAINSTEIN, M. H. *Metarhizium anisopliae* enzymes and toxins. **Toxicon**, v. 56, n. 7, p. 1267-1274, 2010.
- SEDIYAMA, M. A. N.; DOS SANTOS, I. C.; DE LIMA, P. C. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Ceres**, v. 61, n. 7, 2014.
- SHARMA, P., JHA, A. B., DUBEY, R. S., PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of botany**, v. 2012, 2012.
- SILVA, R. N., MONTEIRO, V. N., STEINDORFF, A. S., GOMES, E. V., NORONHA, E. F., ULHOA, C. J. *Trichoderma*/pathogen/plant interaction in pre-harvest food security. **Fungal biology**, v. 123, n. 8, p. 565–583, 2019.
- SINGH, A., SHUKLA, N., KABADWAL, B. C., TEWARI, A. K., KUMAR, J. Review on plant-*Trichoderma*-pathogen interaction. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Kancheepuram, v. 7, n. 2, p. 2382-2397, 2018.
- SOFO, A., TATARANNI, G., XILOYANNIS, C., DICHIO, B., SCOPA, A. Direct effects of *Trichoderma harzianum* strain T-22 on micropropagated shoots of GiSeLa6® (*Prunus cerasus* × *Prunus canescens*) rootstock. **Environmental and Experimental Botany**, v. 76, p. 33-38, 2012.
- SPOEL, S. H., DONG, X. How do plants achieve immunity? Defence without specialized immune cells. **Nature reviews immunology**, v. 12, n. 2, p. 89, 2012.

- SRIRAM, S., SAVITHA, M. J., ROHINI, H. S., JALALI, S. K. The most widely used fungal antagonist for plant disease management in India, *Trichoderma viride* is *Trichoderma asperellum* as confirmed by oligonucleotide barcode and morphological characters. **Current Science**, p. 1332-1340, 2013.
- STANGARLIN, J. R., KUHN, O. J., TOLEDO, M. V., PORTZ, R. L., SCHWAN-ESTRADA, K. R. F., PASCHOLATI, S. F. The plant defense against pathogens. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 1, p. 18-46, 2011.
- STOLARCZYK, J., JANICK, J. Carrot: history and iconography. **Chronica**, v. 51, n. 2, p. 13, 2011.
- STRANGE, R. N., SCOTT, P. R. Plant disease: a threat to global food security. **Annu. Rev. Phytopathol.**, v. 43, p. 83-116, 2005.
- THOMAS, M. B., READ, A. F. Can fungal biopesticides control malaria?. **Nature Reviews Microbiology**, v. 5, n. 5, p. 377, 2007.
- VEY, A.R., HOAGLAND, R.E., BUTT, T.M. Toxic metabolites of fungal biocontrol agents. In: BUTT, T. M., JACKSON, C., MAGAN, N. (ed.), **Fungi as Biocontrol Agents: Progress, Problem and Potential**. CABI, Wallingford, p. 311-346. 2001.
- VINALE, F., SIVASITHAMPARAM, K., GHISALBERTI, E. L., MARRA, R., WOO, S. L., LORITO, M. *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2008.
- VOS, C. M., DE CREMER, K., CAMMUE, B. P., DE CONINCK, B. The toolbox of *Trichoderma* spp. in the biocontrol of *Botrytis cinerea* disease. **Molecular plant pathology**, v. 16, n. 4, p. 400-412, 2015.
- WALTERS, D. R., FOUNTAINE, J. M. Practical application of induced resistance to plant diseases: an appraisal of effectiveness under field conditions. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 147, p. 523–535, 2009.
- WANG, W. B., KIM, Y. H., LEE, H. S., KIM, K. Y., DENG, X. P., KWAK, S. S. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, n. 7, p. 570-577, 2009.
- WOO, S. L., RUOCCO, M., VINALE, F., NIGRO, M., MARRA, R., LOMBARDI, N., LORITO, M. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. **The Open Mycology Journal**, v. 8, n. 1, 2014.

ZEILINGER, S., GUPTA, V. K., DAHMS, T. E., SILVA, R. N., SINGH, H. B., UPADHYAY, R. S., NAYAK S, C. Friends or foes? Emerging insights from fungal interactions with plants. **FEMS microbiology reviews**, v. 40, n. 2, p. 182-207, 2015.

ZHANG, F., GE, H., GUO, N., WANG, Y., CHEN, L., LI, C. Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* isolate T-aloe against *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 100, p. 64-74, 2016.

ZHANG, X., WOLLENWEBER, B., JIANG, D., LIU, F., ZHAO, J. Water deficits and heat shock effects on photosynthesis of a transgenic *Arabidopsis thaliana* constitutively expressing ABP9, a bZIP transcription factor. **Journal of experimental botany**, v. 59, n. 4, p. 839-848, 2008.