



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**USO DO BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO E
DE *Trichoderma afroharzianum* NO
CONTROLE DE *Sclerotium rolfsii in vitro* e
EM MUDAS DE TOMATEIRO**

DOYGLAS VINÍCIUS NUNES ANDRADE

DOYGLAS VINÍCIUS NUNES ANDRADE

**USO DO BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO E
DE *Trichoderma afroharzianum* NO
CONTROLE DE *Sclerotium rolfsii in vitro* e
EM MUDAS DE TOMATEIRO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. LUIZ EDUARDO
BASSAY BLUM

Brasília, DF

Outubro de 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

ANDRADE, Doyglas Vinícius Nunes

“USO DO BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO E DE *Trichoderma afroharzianum* NO CONTROLE DE *Sclerotium rolfsii* *in vitro* E EM MUDAS DE TOMATEIRO”.

Orientação: Luiz Eduardo Bassay Blum, Brasília, 2021. 36 páginas.

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2021.

1. *Athelia rolfsii* 2. Biocarvão 3. Podridão 4. *Solanum lycopersicum*

I. Blum, L.E.B.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, D. V. N. Uso do biochar de lodo de esgoto e de *Trichoderma afroharzianum* no controle de *Sclerotium rolfsii* *in vitro* e em mudas de tomateiro. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2021, 36 páginas. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: DOYGLAS VINÍCIUS NUNES ANDRADE

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Uso do biochar de lodo de esgoto e de *Trichoderma afroharzianum* no controle de *Sclerotium rolfsii* *in vitro* e em mudas de tomateiro.

Grau: 3º **Ano:** 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

DOYGLAS VINÍCIUS NUNES ANDRADE

CEP: 71.691-025 São Sebastião, DF. Brasil

(61) 9 9822-2950/ E-mail: doyglasvinicius@gmail.com

DOYGLAS VINÍCIUS NUNES ANDRADE

**USO DO BIOCHAR DE LODO DE ESGOTO E DE
Trichoderma afroharzianum NO CONTROLE DE
Sclerotium rolfsii in vitro E EM MUDAS DE
TOMATEIRO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. LUIZ EDUARDO BASSAY BLUM

BANCA EXAMINADORA:

Luiz Eduardo Bassay Blum
Doutor, Universidade de Brasília – UnB
Orientador / e-mail: luizblum@unb.br

Maurício Rossato
Doutor, Universidade de Brasília – UnB
Examinador

Éder Stölben Moscon
Doutor, Centro Universitário de Desenvolvimento do Centro Oeste – UNIDESC
Examinador

Dedico este trabalho a minha mãe Maria dos Reis e as minhas irmãs Leticia e Ranna, e a todos que contribuíram de alguma forma para minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos que têm colocado em minha vida, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudo.

A minha mãe, Maria dos Reis e minhas irmãs, Letícia e Ranna, por todos os ensinamentos, apoio, dedicação e contribuições em todo meu processo estudantil.

A minha família por se manterem ao meu lado em todas as fases da minha vida, em momentos bons e ruins.

Aos meus colegas de cursos, em especial à Pedro Batista e Gabriel Alcântara com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como formando, mas como pessoa.

Agradeço ao professor Dr. Luiz Eduardo Bassay Blum, tanto por sua dedicação, comprometimento, seriedade e motivação em suas aulas ministradas, como também, por sua imensurável contribuição como orientador para o desenvolvimento desse trabalho.

A toda equipe do Laboratório de Fungos Fitopatogênicos, em destaque à Eder Stolben que participou efetivamente no meu aprendizado com fungos.

A toda equipe docente da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV e as amigas adquiridas dentro da Universidade de Brasília, que contribuíram de alguma maneira em minha formação acadêmica.

A toda equipe do Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo, principalmente ao Alyson Silva, por sua amizade e contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Cenargen), em especial à pesquisadora Dra. Sueli Correa Marques de Mello, por ter fornecido o microrganismo fitopatogênico que foi avaliado nesse trabalho.

Agradeço a Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal (FAP – DF) pelo apoio financeiro durante a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível”

São Francisco de Assis

ANDRADE, DOYGLAS VINÍCIUS NUNES. **Uso de biochar de lodo de esgoto e de *Trichoderma afroharzianum* no controle de *Sclerotium rolfsii* in vitro e em mudas de tomateiro.** 2021. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

Sclerotium rolfsii é um importante patógeno habitante do solo, causando tombamento e podridão de caule e raiz em diversas plantas de importância econômica. Na cultura do tomate a murcha de *Sclerotium* ou podridão de escleródio é uma doença relevante, uma vez que as plantas doentes podem apresentar podridão e o desenvolvimento de escleródios. A utilização de biochar (BCH) de lodo de esgoto (LE), aplicado ao solo, tem levado a estudos voltados ao controle de doenças em plantas. O controle biológico é também uma alternativa para o manejo de doenças. *Trichoderma* é um dos agentes de biocontrole de doenças mais estudados e utilizados. O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação *in vitro* e ao solo de BCH, *Trichoderma afroharzianum* (cepa T22) e da associação BCH e *T. afroharzianum* sobre *S. rolfsii* e no crescimento do tomateiro inoculado ou não com *S. rolfsii*. Foi avaliado o efeito do BCH [0,6%] sobre o crescimento micelial de *S. rolfsii*. Em adição, foi avaliada a capacidade de inibição do patógeno por pareamento de cultura (*T. afroharzianum* x *S. rolfsii*) com ou sem BCH. Biochar de LE [0,6%], pirolisado a 300°C, apresentou efeito direto, inibindo *in vitro* *S. rolfsii*. *Trichoderma afroharzianum* inibiu o crescimento micelial de *S. rolfsii*, em meio com ou sem BCH. *Sclerotium rolfsii* reduziu: (1) comprimento da parte aérea e radicular das mudas de tomate; (2) massa fresca da parte aérea e radicular do tomateiro; e (3) massa seca da parte aérea e radicular das mudas de tomate. O uso de BCH aumentou o comprimento, massa seca e fresca da parte aérea e radicular das mudas de tomate com ou sem *S. rolfsii*. A combinação *T. afroharzianum* e BCH de LE aumentou o comprimento, massa seca e fresca da parte aérea e radicular das mudas de tomate com ou sem *S. rolfsii*.

Palavras-chave: *Athelia rolfsii*; Biocarvão; Podridão; *Solanum lycopersicum*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Lodo de esgoto in natura (A), forno tubular elétrico (B), BCH 300°C (C) e BCH 300°C armazenado (D). 22
- Figura 2.** *Sclerotium rolfsii* x *Trichoderma afroharzianum* em BDA (A) e *S. rolfsii* x *T. afroharzianum* em BDA + BCH (B) com 24 horas de repicado. 24
- Figura 3.** Montagem do experimento (A) e plântulas de tomate (B) 10 dias após a germinação. 25
- Figura 4.** Pareamento de culturas [*Sclerotium rolfsii* (isolado CEN 216) x *Trichoderma afroharzianum* (cepa T22)] em meio de cultura sem biochar e com biochar [0,6%]. [T1: *S. rolfsii* (BDA); T2: *S. rolfsii* em biochar; T3: *S. rolfsii* x *T. afroharzianum* (BDA) T4: *S. rolfsii* x *T. afroharzianum* (biochar)]. Letras iguais indicam que não há diferença significativa para cada período [Teste de Tukey ($p < 0,05$)]. 27
- Figura 5.** Comprimento (cm) da parte aérea e comprimento da raiz. T1: Controle; T2: Biochar; T3: *Trichoderma afroharzianum*; T4: Biochar + *T. afroharzianum*; T5: *Sclerotium rolfsii*; T6: Biochar + *Sclerotium rolfsii*; T7: *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*; T8: Biochar + *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*. Letras iguais indicam que não há diferença significativa para cada parte da planta [Teste de Tukey ($p < 0,05$)]. 28
- Figura 6.** Massa seca (g) da parte aérea e massa seca (g) da raiz. T1: Controle; T2: Biochar; T3: *Trichoderma afroharzianum*; T4: Biochar + *T. afroharzianum*; T5: *Sclerotium rolfsii*; T6: Biochar + *Sclerotium rolfsii*; T7: *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*; T8: Biochar + *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*. Letras iguais indicam que não há diferença significativa para cada parte da planta [Teste de Tukey ($p < 0,05$)]. 29
- Figura 7.** Massa fresca (g) da parte aérea e massa fresca (g) da raiz. T1: Controle; T2: Biochar; T3: *Trichoderma afroharzianum*; T4: Biochar + *T. afroharzianum*; T5: *Sclerotium rolfsii*; T6: Biochar + *Sclerotium rolfsii*; T7: *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*; T8: Biochar + *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*. Letras iguais indicam que não há diferença significativa para cada parte da planta [Teste de Tukey ($p < 0,05$)]. 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do lodo de esgoto (LE) e do biochar (BCH) produzido a 300 °C.....	23
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Biochar e seus benefícios na agricultura	14
2.2 Biochar e <i>Trichoderma</i> no controle de doenças de plantas	16
2.3 Tomate e sua importância econômica	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 Obtenção e caracterização do Biochar	21
3.2. <i>Experimento 1</i> – Pareamento de culturas (<i>S. rolfsii</i> x <i>T. afroharzianum</i>)	23
3.3. <i>Experimento 2</i> – Uso do biochar em mudas de tomate	25
3.4. Análise estatística	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1. <i>Experimento 1</i>	26
4.2. <i>Experimento 2</i>	28
5. CONCLUSÕES	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

O sistema de esgoto é primordial para a civilização humana, uma vez que as cidades geram uma quantidade enorme de resíduos por dia. O atendimento à população com rede de esgoto adequada no Distrito Federal chega por volta de 90% das residências urbanas, contando com 17 estações de tratamento, produzindo mais de 10.000 toneladas por mês (CAESB, 2020).

Uma alternativa para o uso do lodo de esgoto (LE) é sua incorporação no solo. Várias possibilidades de processamento do lodo têm sido estudadas para garantir o uso desse produto sem risco ao meio ambiente e ao ser humano (ZIN & BADALUDDIN, 2020). O biochar (BCH) de lodo de esgoto é uma opção real e sem risco para o homem e a natureza.

Com a expansão na demanda por alimento, os produtores têm buscado cada vez mais aumentar a produtividade da lavoura. A microbiota do solo é responsável por grande parte dos processos biológicos que acontece com a matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2021), que por sua vez é essencial para uma boa produção. Medeiros et al., (2020) relataram que em solo com biochar e com fungo do gênero *Trichoderma* ocorreu o aumento do comprimento e da biomassa seca da planta de melancia em mais de 120% e 190% respectivamente.

Sclerotium rolfsii (Teleomorfo: *Athelia rolfsii*) é um fungo que pertence ao filo Basidiomycota (MYCOBANK, 2021), na sua fase assexuada, sobrevivendo no solo através da formação de escleródios. É um grande fitopatógeno habitante do solo, agente causador de várias doenças em espécies vegetais. Para o controle de fungos do solo, são utilizados diversos fungicidas químicos, no entanto, o uso indiscriminado desses produtos representa uma grave ameaça ao meio ambiente devido ao efeito residual (SRIDHARAN et al., 2020).

Um dos grandes vilões na cultura do tomate são os fungos fitopatogênicos, pois cerca de 15% do custo de produção é destinado ao uso de fungicidas (ÁVILA et al., 2016). O fungo *S. rolfsii* pode afetar diversas partes da planta do tomate, como as folhas, hastes e frutos, devido a essas estruturas ficarem em contato direto ao solo (SILVA et al., 2003).

O controle biológico está crescendo a uma taxa muito elevada, com esse crescimento, linhas de pesquisas com *Trichoderma* spp. e associação a outros produtos estão ganhando muito espaço no mercado. O uso desse microbiano

tem chamado a atenção pelo seu sucesso relacionado a controle de doenças vegetais, crescimento vegetal, processo de decomposição e biorremediação (ZIN & BADALUDDIN, 2020).

O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação *in vitro* e ao solo de BCH, *Trichoderma afroharzianum* e da associação BCH + *T. afroharzianum* sobre *S. rolfsii* em aspectos agrônômicos da cultura do tomate inoculado ou não com fitopatógeno em laboratório e na casa de vegetação. Foi avaliado o efeito do BCH na concentração de 0,6% sobre o crescimento micelial de isolado de *S. rolfsii*. Foi analisado ainda a capacidade de biocontrole por meio de pareamento de cultura (*T. afroharzianum* x *S. rolfsii*) com ou sem biochar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Biochar e seus benefícios na agricultura

O biochar é um material heterogêneo produzido a partir de um processo denominado pirólise, ou seja, um processo térmico executado em altas temperaturas, podendo variar de 200 °C a 900 °C, perante disponibilidade limitada de oxigênio (BONANOMI et al., 2015). Diferentes matérias-primas podem ser utilizadas na produção do biochar, entre elas, resto de cultura do milho (WANG et al., 2020), lodo de esgoto (FIGUEIREDO et al., 2019), madeira (JAISWAL et al., 2019), e resíduos de plantas de pimenta (JAISWAL et al., 2017). Lehmann et al. (2011) afirmaram em seu trabalho que a diferença entre o biochar e o carvão vegetal está em seu uso, ou seja, o biochar está associado à agricultura e o carvão vegetal como combustível para produção de energia.

Biochar é um termo científico novo e possui diferentes definições. Para Lehmann & Joseph (2009), o biochar é um produto rico em carbono, característica decorrente da matéria-prima utilizada, podendo ser produzido a partir madeira, folhas ou esterco através do aquecimento com pouco ou sem oxigenação. Segundo Shackley et al. (2012), a melhor definição de biochar é: “sólido carbonáceo poroso, feito pela transformação de uma matéria orgânica em uma atmosfera nula de oxigênio, no entanto, com boas características físico-químicas”. Outra definição também adotada destaca o biochar como um material sólido obtido a partir da conversão termoquímica de biomassa em um ambiente com limitação de oxigênio, sendo essa a definição padrão da ‘International Biochar Initiative’ (Iniciativa Internacional do Biochar) (IBI, 2015). Usualmente a pirólise é dividida de acordo com o tempo e a temperatura, em: rápida, tempo curto, chega-se a alguns minutos; e intermediária a lenta, quando gasta de alguns minutos até várias horas ou dias (AHMAD et al., 2014).

As consequências positivas do biochar na qualidade do solo são realizações conhecidas desde os antepassados (BONANOMI et al., 2015), habitantes da Amazônia pré-colombiana desenvolveram o que hoje chamamos de terra preta ou mesmo terra escura, refazendo ciclos de fogo e cultivo (SILVA et al., 2012). Todavia, essa antiga evidência empírica recebeu base científica

somente na última década, quando teve um aumento muito grande nas pesquisas relacionadas a esse tema (BONANOMI et al., 2015).

A utilização de biochar como condicionador do solo pode diminuir as mudanças climáticas globais, diminuindo a emissão de gases poluentes, que contribui para o efeito estufa (BONANOMI et al., 2015). Entretanto, a associação entre as propriedades físico-químicas do biochar e seus impactos na microbiota do solo, assim como, os efeitos potenciais coexistentes para o solo ainda precisam de compreensão (LEHMANN et al., 2011).

O incremento de produtividade de diferentes culturas vem sendo associado à aplicação de biochar ao solo (LIMA et al., 2020, 2019; OLIVEIRA et al., 2021). Entretanto, existem inúmeros resultados variáveis, sendo que o mais é estudado e observado é a modificação da propriedade do solo. Jeffery et al., (2011) afirmaram que a aplicação de biochar teve um acréscimo médio de 10% na produtividade, um excelente panorama para a linha da pesquisa e para o produtor rural, que será um grande beneficiário dessas descobertas.

A capacidade de armazenamento de água do solo pode ser melhorada a partir de aplicações de biochar no solo (NOVAK et al., 2012). Em solos arenosos, onde a água é drenada mais rapidamente em comparação a outros tipos de solos, o biochar postergou a infiltração da água, limitando a perda da água, ao mesmo tempo em que em solos argilosos o biochar proporciona a drenagem da água (BONANOMI et al., 2015). Outra propriedade do biochar segundo Ahmad et al. (2014) é a descontaminação da água por metais pesados ou até mesmo poluentes orgânicos.

Praticamente todo suprimento alimentar que o homem consome é proveniente da terra e esse número não deverá mudar do dia para a noite. Os resultados do biochar na produtividade das lavouras comprova o seu potencial para mitigar a fome no futuro e as famílias terem segurança alimentar. Apesar disso, a implementação em larga escala do biochar só irá alavancar com evidências científicas sobre os seus resultados nas propriedades do solo (JEFFERY et al., 2011).

O uso de lodo de esgoto como matéria-prima para a produção de biochar é um caminho viável para redução e aplicabilidade desse resíduo na agricultura, proporcionando assim diferentes benefícios ao setor agrícola (IPPOLITO et al., 2012). Uma questão que deixava em cheque era o acúmulo de metais pesados

no solo, quando utilizado de forma indiscriminada, visto que tinham poucas pesquisas com essa finalidade, todavia, pôde comprovar que o biochar feito a partir de lodo de esgoto doméstico pode ser usado na agricultura, uma vez que não corre risco de contaminação, pois os níveis de metais pesados deram abaixo do permitido pela legislação, além de fornecer micronutrientes para o solo (FIGUEIREDO et al., 2019).

2.2 Biochar e *Trichoderma* no controle de doenças de plantas

Novas pesquisas têm apresentado que a adição de biochar pode controlar doenças causadas por fungos e bactérias propagadas via solo (WANG et al., 2020). Guangfei et al. (2017) demonstraram que a aplicação de biochar ao solo resultou no controle da doença causada pelo oomiceto *Phytophthora capsici* L. na cultura da pimenta, gênero *Capsicum*. Jaiswal et al. (2019) observaram uma mudança na estrutura da comunidade microbiana após a aplicação de biochar, conseqüentemente, houve um bom resultado na supressão da doença causada pelo fungo *Pythium aphanidermatum* em mudas de pepino em um intervalo de pré-condicionamento de 14 dias.

A perda de matéria orgânica do solo e a diminuição da microbiota do solo por causa da forte e intensa agricultura tem colaborado para o aumento das doenças transmitidas via solo (JAISWAL et al., 2017). Várias pesquisas nos últimos anos têm buscado uma agricultura mais sustentável com intenção de controlar fitopatógenos e com o mínimo de impacto ambiental (BONANOMI et al., 2015; FONSECA et al., 2020; SILVA et al., 2020). Nesse sentido, a expectativa de colocar adubos orgânicos, como esterco animal, adubo verde, resíduos orgânicos e compostos, é de total importância.

Os impactos benéficos na microbiota do solo são de suma importância para o ecossistema e automaticamente para a plantação que, por sua vez, têm conseqüências enorme para o solo, na estrutura física e química, ciclagem de nutrientes, aeração, eficiência no uso de água e controle de doenças (LEHMANN et al., 2011). Existem indícios que o biochar ou simplesmente biocarvão pode possivelmente controlar diversos patógenos de plantas que são transmitidos pelo solo (GUANGFEI et al., 2017; WANG et al., 2020), bastante diferente se confrontado com compostos orgânicos, fertilizantes, produzidos a partir de resíduos da colheita que tem por volta de 79 patógenos possivelmente

controlados (BONANOMI et al., 2007), sendo o fator limitante para o biochar, ainda poucas pesquisas nessa área.

A utilização do biochar antes do plantio pode potencializar o efeito de controle por motivo do curto prazo do biochar nas propriedades biológicas do solo (FARRELL et al., 2013). Todavia, a aplicação antecipada, ou seja, em alguns dias antes do plantio, pode promover uma microflora do solo ideal e, conseqüentemente, melhorar a supressão das doenças, obtendo um maior controle (WANG et al., 2020).

Com a expansão na demanda por alimento, os produtores têm buscado cada vez mais aumentar a produtividade da lavoura. A microbiota do solo é responsável por grande parte dos processos biológicos que acontece com a matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2021), que por sua vez é essencial para uma boa produção. Medeiros et al. (2020) relataram que em solo com biochar e com fungo no gênero *Trichoderma* aumentou o comprimento e a biomassa seca da planta de melancia em mais de 120% e 190% respectivamente.

O uso de controle biológico para as doenças de plantas tem sido muito estudado ao longo tempo (MISAGHI & DONNDELINGER, 1990), principalmente quando diz respeito ao gênero *Trichoderma*, que vem sendo usado para o controle de doenças, pois produz metabólitos que inibem o crescimento de outros fungos (LIFSHITZ et al., 1986), e possui um índice muito alto de controle por parasitismo (REYES et al., 2002). A combinação entre plantas e microrganismos é essencial para a saúde vegetal. A rizosfera é uma região muito importante que envolve a troca de informações entre as plantas e o solo, visto que as plantas se comunicam para controlar os inimigos (SARAVANAKUMAR et al., 2017).

Trichoderma é um gênero de fungos nativos do solo, com interação com as plantas na camada da extensão da rizosfera, todavia, apenas um pequeno número ocupa essa parte do solo (METCALF & WILSON, 2001). Outras espécies povoam toda superfície radicular, entram e se constituem endofiticamente nos locais intercelulares das camadas superiores da epiderme, mantendo-se em combinação com as raízes por grande intervalo de tempo (STEFANELLO et al., 2017).

O controle biológico de fitopatógenos realizado por fungos do gênero *Trichoderma* envolve três mecanismos de controle: competição direta por

espaço e nutrientes; antibiose (através de metabólitos secundários voláteis e não voláteis); e parasitismo de espécies fúngicas (GUÉDEZ et al., 2012; EZZIYANI et al., 2004).

Os produtos com *Trichoderma* são capazes de serem utilizados em várias culturas, como por exemplo soja (MILANESI et al., 2013), milho (RESENDE et al., 2004), feijão (PEDRO et al., 2012) e tomate (REYES et al., 2002). Contudo, as doses aplicadas podem diferir segundo o produto comercial que será utilizado, pois cada um dispõe de uma formulação específica, com concentração variável.

É amplo o campo de atuação dos produtos à base de *Trichoderma*, pois combate doenças causadas por fungos dos gêneros *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Verticillium*, *Pythium*, *Armillaria* e *Roselinia* (AULER et al., 2013; ETHUR et al., 2001; PEDRO et al., 2012; RESENDE et al., 2004; REYES et al., 2002; SÁ et al., 2019). As doenças causadas por esses fungos estão entre as que proporcionam maiores reduções na produção e na produtividade da lavoura. A forma de atuação do *Trichoderma* spp. é preventiva e não curativa (NASCENTE et al., 2019a), ou seja, a aplicação do agente de biocontrole deve ser feita anteriormente à disseminação da doença, pois terá uma maior porcentagem de controle. Apesar disso, em ocasiões específicas, o fungo pode ser utilizado após a introdução do patógeno na área, como é visto no controle da *Sclerotinia sclerotiorum* e seus escleródios, em que os produtos à base de *Trichoderma* são aplicados objetivando inviabilizar os escleródios do fitopatógeno (LUCON et al., 2014).

2.3 Tomate e sua importância econômica

Cultivado em inúmeros países, o tomate (*Solanum lycopersicum*) está exposto no dia a dia das pessoas em diversos pratos e formas, desde a habitual salada, incluso em lasanhas, pizzas, hambúrgueres e até em produtos industrializados, como ketchup, molhos e extratos. Um grande atrativo nutricional para o tomate é a alta concentração de licopeno, um importante antioxidante, que combate os radicais livres e vem sendo estudado para a prevenção de câncer, por ter diversas moléculas (JUMA et al., 2004).

O tomateiro originou-se no oeste da América do Sul e crê-se que a domesticação tenha acontecido na América Central, sendo que seus frutos mudaram significativamente, expandindo ao longo do tempo e de sua

domesticação, em comparação com seu ancestral (VEASEY et al., 2011). Ao contrário do que se pensam, o tomate não é uma hortaliça, e sim uma fruta. Encontram-se tomate de várias formas, tamanhos e cores, a que mais se destaca no Brasil é a vermelha.

Existem diversas cultivares de tomates indicadas ao consumo *in natura* ou para a indústria e são divididas em cinco grandes grupos. Salada: popular também como tomatão ou gaúcho, com frutos bem grandes, podendo alcançar até 500g e seu formato é globular achatado. Italiano: apresentam frutos compridos, em alguns casos pontiagudos, atingindo preços elevados, apesar que muitos consumidores ainda não o conhecem, podendo aumentar a demanda. Santa Cruz: a princípio foram materiais selecionados pelos agricultores, mais tarde por instituições de pesquisas. São os mais comuns no mercado, tendo preço mais baixo e tradicional na culinária, utilizado em saladas e molhos. Cereja: os frutos são pequenos, que possuem pencas de 12 a 18 cachos, bastante utilizados na ornamentação de pratos. É o grupo que vem demonstrando grande demanda pelos clientes, atingindo preços gratificantes no mercado (ÁVILA et al., 2016). Industrial: o período necessário para maturação dos frutos depende da cultivar, do clima da região e do estado nutricional da planta. Grande parte colhida no solo brasileiro tem um ciclo de 110 a 120 dias (SILVA et al., 2003), e foi uma das culturas que mais cresceu no mercado nacional, chegando a quase 200% (PANOBIANCO & MARCOS FILHO, 2001).

No cenário brasileiro, é um dos principais produtos da horticultura, plantado em todas as regiões, com grande significância nos estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais, que obtêm grande área e produção, mais da metade, onde estão localizadas as indústrias mais relevantes de processamento de tomate (CEPEA, 2020). Outro quesito para esses estados terem essa grande concentração, é o solo e o clima, ajudando no cultivo dessa hortícola (JAISWAL et al., 2020). Entretanto, o tomate mostra ter bastante variação de preço, principalmente pela logística de comercialização ou pela lei da oferta e demanda que requer uma boa sintonia entre esses dois eixos (CARVALHO et al., 2014).

Segundo IBGE (2021), atualmente, o Sudeste tem a maior área com o cultivo de tomate industrial. É uma cultura muito exigente em tecnologia, entretanto, carece de muita mão-de-obra, sendo necessário cerca de 100 homens-dias por hectare. Na maior parte do tempo, esses trabalhadores estão

ocupando-se com capinas, desbastes e colheitas manuais, em contrapartida, a mecanização destina-se ao preparo do solo, adubação, transplante, irrigação e pulverização (SILVA et al., 2003).

A área colhida de tomate em 2018 foi inferior a 2017, assim como a produção, 4.110.242 e 4.225.414 toneladas, respectivamente (Anuário Brasileiro de Fruticultura, 2020). Intercalando mais de 175 países, o tomate é cultivado em altas latitudes como Canadá e Rússia assim como perto da linha do Equador, Colômbia e Nigéria, completando uma produção de mais de 177 milhões de toneladas em 2016 (CONAB, 2019). O tomate é a cultura com maior produção e rentabilidade no seguimento de hortifruti (Anuário Brasileiro de Fruticultura, 2020). De acordo com o anuário, apesar da diminuição de área plantada em 2019 em comparação com 2018, observou-se um aumento de produtividade, refletindo em maiores produções de tomate de mesa e industrial. Essa redução de área tem relação ao estoque muito alto de tomate no mercado interno (Anuário Brasileiro de Fruticultura, 2020).

Um dos grandes vilões na cultura do tomate são os fungos fitopatogênicos, pois cerca de 15% do custo de produção é destinado ao uso de fungicidas (ÁVILA et al., 2016). O fungo *Sclerotium rolfsii* pode atacar diversas partes da planta do tomate, como as folhas, hastes e frutos, devido a essas estruturas ficarem em contato direto ao solo (SILVA et al., 2003).

A doença causada pelo fungo *Sclerotium rolfsii* acontece com bastante regularidade no Brasil, visto que é um país com temperatura e umidade alta no solo, criando assim um microclima ideal para a disseminação do patógeno (MARTINS et al., 2010). É um fitopatógeno de difícil controle devido sua capacidade de sobrevivência no solo, por ter estrutura de sobrevivência conhecido como escleródios (FARIA et al., 2009) e pela diversidade de plantas hospedeiras (SÁ et al., 2019). Em diversas culturas atacadas pelo fungo, o controle químico não é comumente utilizado, tal situação pode ser explicada pelo alto custo financeiro demandado nesse método, como também, em determinadas situações se mostrar tecnicamente inviável e com diferentes restrições ambientais. (SILVA et al., 2014).

Segundo Auler et al., (2013), isolados de *Trichoderma* se sobressaíram na inibição do crescimento de *Sclerotium rolfsii*, não apenas em condições laboratoriais, *in vitro*, mas também em casa de vegetação. Guédez et al. (2012)

relataram que *Trichoderma harzianum* obteve sucesso na inibição de *S. rolfsii* em mais de 50% do seu desenvolvimento.

No caso específico do biochar de lodo de esgoto, o desenvolvimento de pesquisas e de dados gerados ainda é limitado, principalmente seus benefícios quando incorporado a solos de regiões tropicais, como no caso dos Latossolos. Sua produção ainda necessita ser melhor compreendida, obtendo-se temperaturas e tempos de pirólise adequados para uma produção de biochar visando o aumento no número de microrganismos benéficos no solo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Obtenção e caracterização do Biochar

O biochar (BCH) foi produzido a partir da biomassa de lodo de esgoto (LE) proveniente da estação de tratamento de esgoto da companhia de saneamento ambiental do Distrito Federal (CAESB), localizada na cidade de Samambaia, a 38 km do centro de Brasília, DF. Esta estação de tratamento de esgoto utiliza o sistema de tratamento em nível terciário, no qual o LE é tratado em reator anaeróbio de fluxo ascendente, reator biológico e clarificador. O LE utilizado estava acondicionado em pátio de secagem e suas características estão descritas na Tabela 1.

O BCH foi produzido em forno tubular elétrico (Linn Elektro Therm) a 300°C (Figura 1), com taxa de aumento de temperatura igual a 2,5 °C min⁻¹ e tempo de residência de 5 horas. Essa etapa do experimento foi realizada no Laboratório de Preservação da Qualidade da Madeira, situado na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília.

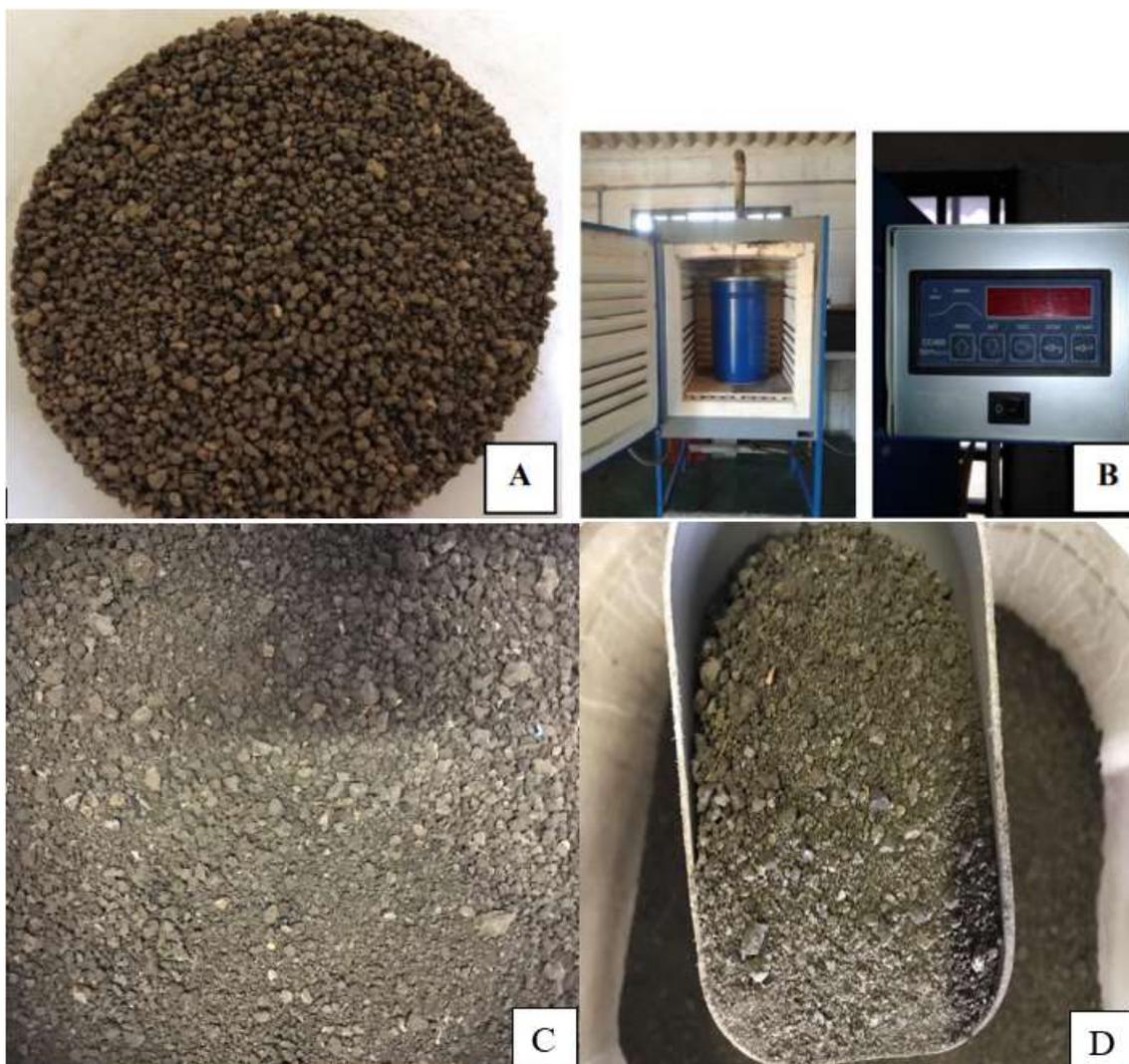


Figura 1. Lodo de esgoto *in natura* (A), forno tubular elétrico (B), BCH 300 °C (C) e BCH 300 °C armazenado (D).

A caracterização físico-química do BCH é descrita na Tabela 1. As amostras de LE foram alocadas em um recipiente de metal adaptado ao espaço interno do forno que conta com um sistema de saída de gases e bio-óleo, e um mecanismo que evita o fluxo de oxigênio. O controle de temperatura durante a pirólise foi realizado com o uso de um termopar tipo K de penetração, modelo MTK-15, acoplado a um termômetro digital KT-160^a.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do lodo de esgoto (LE) e do biochar (BCH) produzido a 300 °C.

Propriedades	Lodo de esgoto	BCH (LE) 300
Umidade (%)	10,62 ± 1,56	4,26 ± 0,23
Sólidos Voláteis (%)	48,25 ± 1,36	41,75 ± 2,47
Cinzas (%)	39,33 ± 2,38	48,27 ± 1,08
Carbono Fixo (%)	1,79 ± 0,52	5,72 ± 1,55
Carbono Inerte (%)	3,23 ± 0,39	2,86 ± 0,34
Carbono Total (%)	18,58 ± 0,26	19,92 ± 0,28
COT (%)	17,45 ± 0,85	18,61 ± 0,09
MOT (%)	30,09 ± 1,47	32,09 ± 0,15
Ácido Fúlvico (g kg ⁻¹)	24,10 ± 0,58	23,89 ± 0,33
Ácido Húmico (g kg ⁻¹)	8,45 ± 0,39	7,51 ± 0,11
Huminas (g kg ⁻¹)	146,28 ± 3,00	139,90 ± 1,21
Nitrogênio (%)	3,99 ± 0,05	5,05 ± 1,16
C/N	4,66 ± 0,02	3,95 ± 0,96
pH (CaCl ₂)	5,48 ± 0,02	6,04 ± 0,04
CTC (mmol L ⁻¹)	286,67 ± 1,53	265,00 ± 2,00
Fósforo (g kg ⁻¹)	23,52 ± 0,75	28,70 ± 0,33
Potássio (g kg ⁻¹)	0	0
Cálcio (g kg ⁻¹)	13,17 ± 0,21	11,33 ± 0,15
Magnésio (g kg ⁻¹)	2,53 ± 0,06	2,77 ± 0,06
Enxofre (g kg ⁻¹)	13,70 ± 0	15,10 ± 0
Boro (mg kg ⁻¹)	0	0
Cobre (mg kg ⁻¹)	100,00 ± 0	113,33 ± 5,77
Ferro (g kg ⁻¹)	15,40 ± 0,17	16,40 ± 0,10
Manganês (mg kg ⁻¹)	100 ± 0	100 ± 0
Zinco (mg kg ⁻¹)	400,00 ± 0	503,33 ± 5,77
Rendimento (%)	-	81,21 ± 3,30

Valores médios ± desvio padrão (n = 3); COT: carbono orgânico total; MOT: matéria orgânica total; CTC: capacidade de troca de cátions.

3.2. Experimento 1 – Pareamento de culturas (*S. rolfsii* x *T. afroharzianum*)

O experimento foi desenvolvido no Departamento de Fitopatologia, localizado no Instituto de Ciências Biológicas – UnB. O BCH foi macerado em almofariz e, posteriormente, passado em peneira com malha de 500 micrômetros. O meio de cultura foi produzido a partir de Batata-Dextrose-Ágar (BDA - Acumedia®, Michigan, Estados Unidos da América), sendo formulado adotando-se 39 g de BDA sintético em 1 litro de água destilada. Após tal procedimento, o BCH foi adicionado ao erlenmeyer contendo o preparo do meio

de cultura e autoclavado a 121 °C por 30 minutos. Após o resfriamento, a aproximadamente 50 °C, o meio de cultura foi vertido em placas de Petri, adotando-se 25 mL de meio de cultura por placa.

Foi realizado um experimento preliminar com diferentes concentrações de biochar de lodo de esgoto com intuito de determinar a dose com maior percentual de controle do fungo *S. rolfsii*. Esse teste demonstrou que a concentração de 0,6% (0,6 g de biochar por 100 mL de meio de cultura) expressou o maior controle sobre o crescimento micelial do fungo.

Os fungos *T. afroharzianum* (cepa T22) e *S. rolfsii* (isolado CEN 216) foram desenvolvidos em meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Ágar) sintético. Discos de micélio com 10 mm de diâmetro foram retirados das bordas das colônias de *T. afroharzianum* e de *S. rolfsii*, ambos com sete dias de crescimento, e repicados para placas em que foram realizados os pareamentos. Os tratamentos deste experimento foram: *S. rolfsii* em BDA (controle); *S. rolfsii* em BDA + BCH; *S. rolfsii* x *T. afroharzianum* em BDA; *S. rolfsii* x *T. afroharzianum* em BDA + BCH.

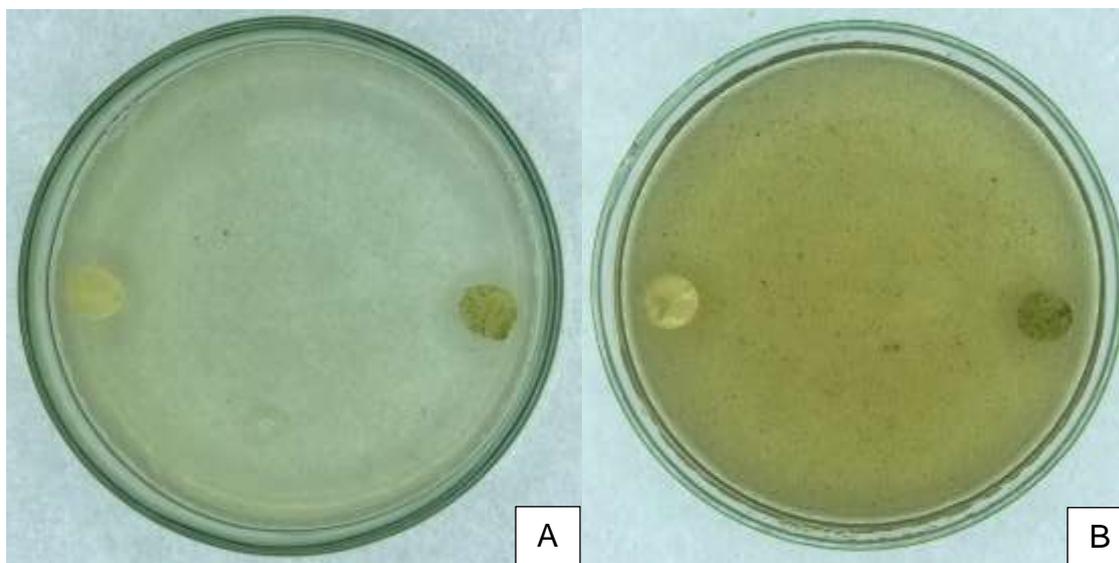


Figura 2. *Sclerotium rolfsii* x *Trichoderma afroharzianum* em BDA (A) e *S. rolfsii* x *T. afroharzianum* em BDA + BCH (B) com 24 horas de repicado.

As avaliações iniciaram-se 24 horas após a montagem do experimento, sendo realizadas medições diárias do crescimento micelial, por um período de cinco dias. As medições foram executadas com o uso de paquímetro milimétrico

digital. O experimento contou com seis repetições, em delineamento inteiramente casualizado (Figura 2).

Nesse ensaio foram avaliadas características de crescimento das colônias. Sendo avaliado o efeito supressivo do biochar sobre o crescimento do fitopatógeno *S. rolfsii*, a capacidade de biocontrole que o *T. afroharzianum* (cepa T22) exerceu sobre o patógeno, e o efeito sinérgico do BCH juntamente com o *T. afroharzianum* sobre o crescimento do *S. rolfsii* (isolado CEN 216).

3.3. Experimento 2 – Uso do biochar em mudas de tomate

O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Biologia da UnB, sendo avaliado o desenvolvimento de mudas de tomate em telado, a partir do uso de BCH de LE produzido a 300 °C e *T. afroharzianum* (cepa T22). O experimento objetivou avaliar o controle de *S. rolfsii* (isolado CEN 216) em decorrência do uso do BCH e da associação BCH + *T. afroharzianum* quando aplicados ao solo, e os ganhos agrônômicos associados a esses tratamentos.

Para montagem do ensaio, o BCH foi passado em peneira com malha de 500 micrômetros e adotada a dose de 0,6% (v/v). Foi utilizado para montagem do experimento o substrato Bioplant® e utilizadas sementes de tomate de mesa da marca Feltrin®, variedade Coração de Boi que possui crescimento indeterminado. A semeadura da espécie vegetal ocorreu em bandejas para mudas, colocando-se 2 sementes por célula (Figura 3).



Figura 3. Montagem do experimento (A) e plântulas de tomate (B) 10 dias após a germinação.

Foi utilizado arroz integral parboilizado para produção do inóculo com patógeno. O arroz foi adicionado aos Erlenmeyer contendo meio de cultura BDA e colônias do fungo *S. rolfsii* com dois dias de crescimento. Posteriormente, os Erlenmeyer foram lacrados e o arroz foi colonizado pelo fungo pelo período de sete dias. Para inoculação do experimento foi definida a concentração de 5 g de arroz colonizado pelo patógeno por litro de substrato. A inoculação foi realizada três dias anteriores à semeadura do tomate.

O agente de controle biológico *T. afroharzianum* foi aplicado ao substrato em dois momentos, na montagem do experimento e no dia da semeadura do tomate. No primeiro momento, foi aplicado 1 mL da suspensão de *T. afroharzianum* (5×10^5 UFC mL⁻¹) por litro de substrato. No segundo momento, foi aplicado 0,1 mL da suspensão por célula da bandeja de mudas.

Os tratamentos utilizados foram: 1) espécie vegetal (controle); 2) espécie vegetal (EV) + *S. rolfsii*; 3) EV + BCH; 4) EV + BCH + *S. rolfsii*; 5) EV + *T. afroharzianum*; 6) EV + *T. afroharzianum* + *S. rolfsii*; 7) EV + *T. afroharzianum* + BCH; 8) EV + *T. afroharzianum* + BCH + *S. rolfsii*.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 32 repetições. Desse total, 7 plantas com 35 dias após semeadura foram retiradas ao acaso para determinação dos parâmetros agronômicos, tais como: massa fresca (g), massa seca (g) e comprimento (cm), tanto de parte aérea como raiz.

3.4. Análise estatística

As análises foram realizadas utilizando-se o programa IBM SPSS Statistics, versão 23.0 (IBM CORP, 2015). Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), com diferença significativa avaliada pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Os gráficos foram desenvolvidos através do programa SigmaPlot, versão 10.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1

A determinação do crescimento micelial do fungo *S. rolfsii* no bioensaio *in vitro* estabeleceu que o menor crescimento do fitopatógeno, ou seja, seu

controle, ocorreu quando o fitopatógeno estava competindo por espaço com o antagonista *Trichoderma afroharzianum* juntamente com o biochar (Figura 4). Carvajal et al. (2008) obtiveram um resultado parecido, onde algumas cepas de *Trichoderma* controlaram o fungo *S. rolfsii* em condições *in vitro*. A aplicação de biochar em conjunto com *Trichoderma* aumenta consideravelmente o índice de controle pelo fungo, pois agrega carbono a biomassa microbiana (OLIVEIRA et al., 2021).

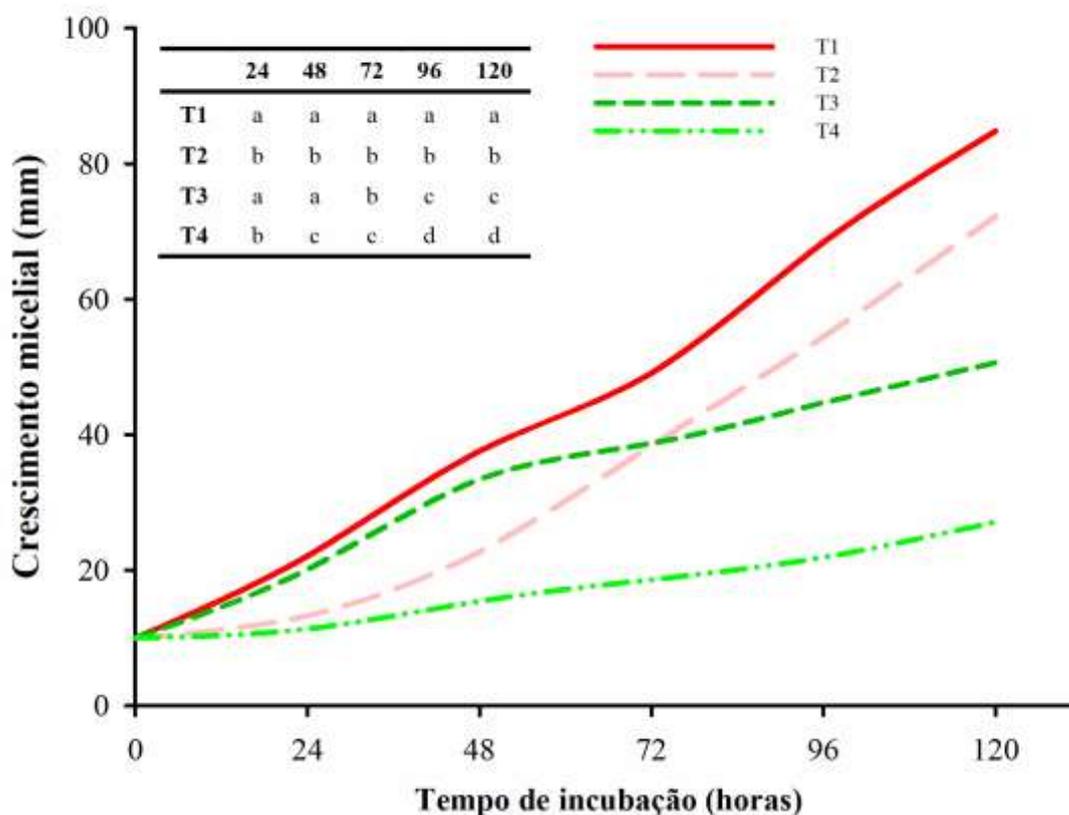


Figura 4. Pareamento de culturas [*Sclerotium rolfsii* (isolado CEN 216) x *Trichoderma afroharzianum* (cepa T22)] em meio de cultura sem biochar e com biochar [0,6%]. [T1: *S. rolfsii* (BDA); T2: *S. rolfsii* em biochar; T3: *S. rolfsii* x *T. afroharzianum* (BDA) T4: *S. rolfsii* x *T. afroharzianum* (biochar)]. Letras iguais indicam que não há diferença significativa para cada período [Teste de Tukey ($p < 0,05$)].

Quando *S. rolfsii* foi colocado na mesma placa de Petri no bioensaio com *T. afroharzianum* obteve uma supressão do fitopatógeno comparado com a testemunha (*S. rolfsii* em BDA). Existem inúmeras pesquisas comprovando a eficácia de *Trichoderma* no controle de fungos fitopatógenos *in vitro* e *in vivo* por

diversos motivos, entre eles, competição por espaço e nutrientes (ELAD et al., 1980; LUCON et al., 2014; SURIYAGAMON et al., 2018).

A medição do crescimento de *S. rolfsii* no bioensaio *in vitro* com o BCH apontou para um resultado semelhante aos outros tratamentos, uma vez que também obteve controle do fungo fitopatogênico. Resultado da pesquisa de Wang et al. (2020) corrobora com o resultado, visto que a comunidade fúngica, principalmente antagonista, enriquecida com biochar inibiu o crescimento do patógeno (*Phytophthora* spp.) e eventualmente controlando a doença na cultura da pimenta.

4.2. Experimento 2

A aplicação de biochar de LE ao solo, de *T. afroharzianum* ou a

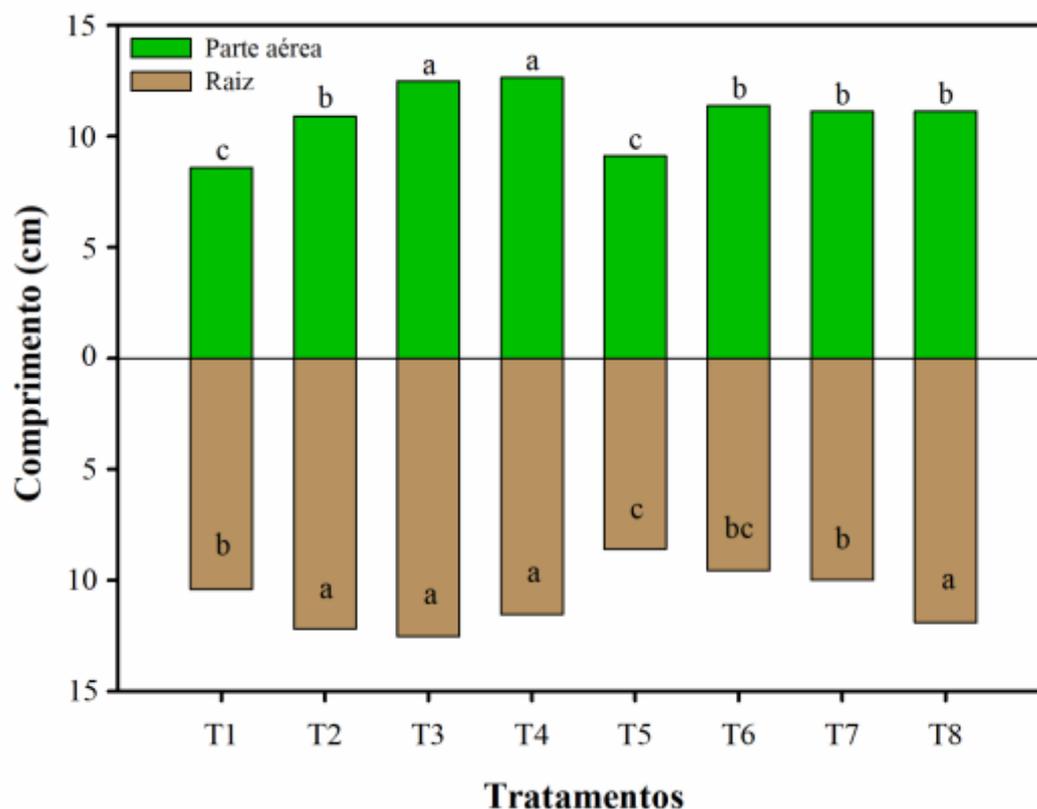


Figura 5. Comprimento (cm) da parte aérea e comprimento da raiz. T1: Controle; T2: Biochar; T3: *Trichoderma afroharzianum*; T4: Biochar + *T. afroharzianum*; T5: *Sclerotium rolfsii*; T6: Biochar + *Sclerotium rolfsii*; T7: *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*; T8: Biochar + *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*. Letras iguais indicam que não há diferença significativa para cada parte da planta [Teste de Tukey ($p < 0,05$)].

associação do biochar + *T. afroharzianum* influenciaram no crescimento da parte aérea e radicular das mudas de tomate (Figuras 5). Foram observados resultados semelhantes com o uso de *Trichoderma* spp. em várias culturas, com o comprimento de raiz, tamanho de planta e maior rendimento (MOREIRA et al., 2021; NASCENTE et al., 2019; SANI et al., 2020).

Com a inoculação de *S. rolfsii* no solo, diminuiu o tamanho da parte radicular em comparação com a testemunha, isso foi observado pois o fungo pode causar doença nas raízes e colo da planta, acarretando assim um estresse maior na planta.

A massa seca e fresca das mudas de tomate (Figura 6 e 7) tiveram forte interferência negativa pelo patógeno *S. rolfsii*, por outro lado, *T. afroharzianum* conseguiu aumentar o valor das massas seca e fresca em comparação à

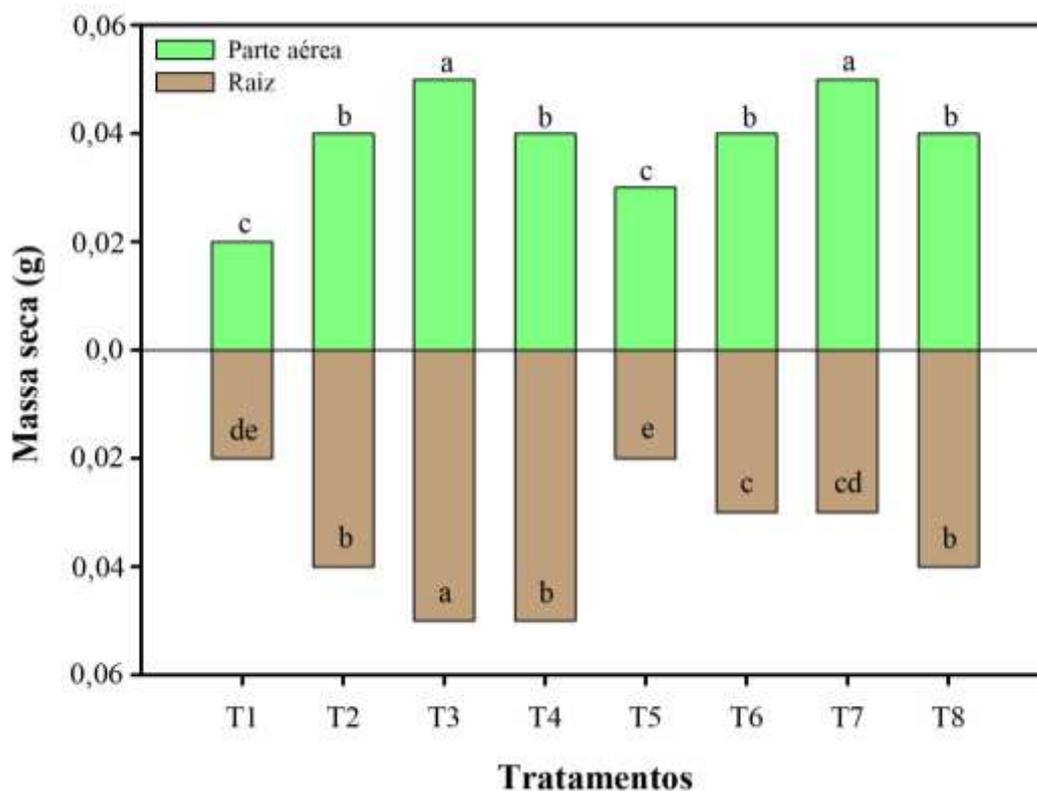


Figura 6. Massa seca (g) da parte aérea e massa seca (g) da raiz. T1: Controle; T2: Biochar; T3: *Trichoderma afroharzianum*; T4: Biochar + *T. afroharzianum*; T5: *Sclerotium rolfsii*; T6: Biochar + *Sclerotium rolfsii*; T7: *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*; T8: Biochar + *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*. Letras iguais indicam que não há diferença significativa para cada parte da planta [Teste de Tukey ($p < 0,05$)].

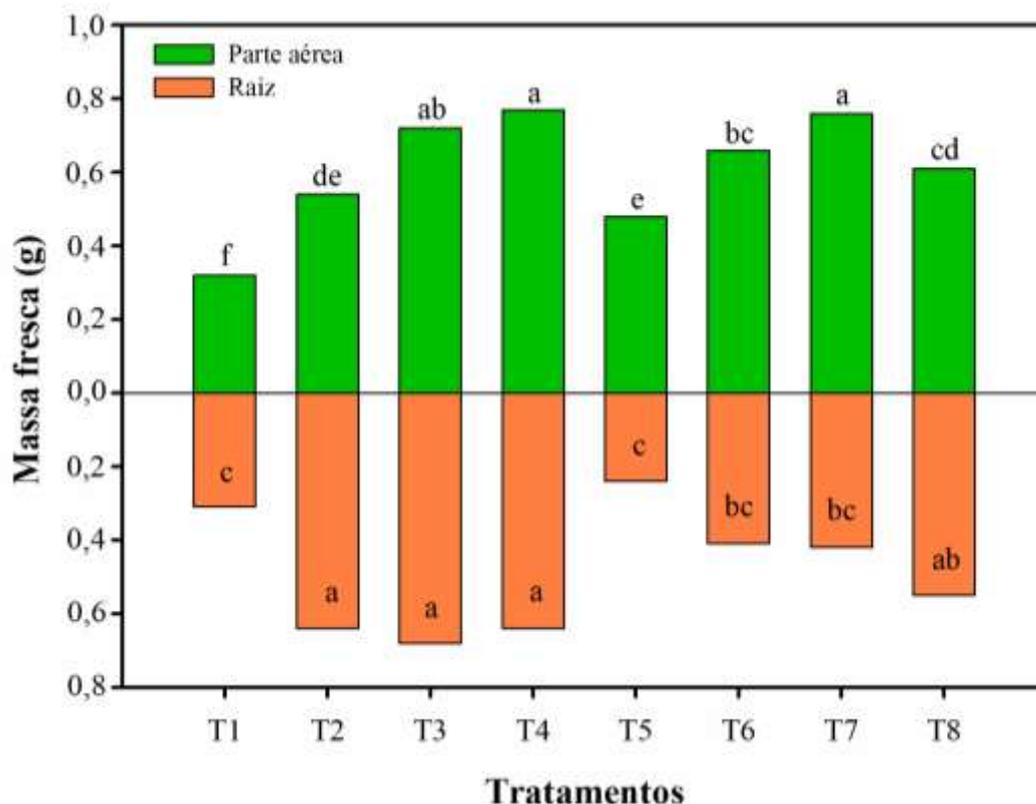


Figura 7. Massa fresca (g) da parte aérea e massa fresca (g) da raiz. T1: Controle; T2: Biochar; T3: *Trichoderma afroharzianum*; T4: Biochar + *T. afroharzianum*; T5: *Sclerotium rolfsii*; T6: Biochar + *Sclerotium rolfsii*; T7: *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*; T8: Biochar + *Trichoderma afroharzianum* + *Sclerotium rolfsii*. Letras iguais indicam que não há diferença significativa para cada parte da planta [Teste de Tukey ($p < 0,05$)].

testemunha. Nos ensaios com BCH de lodo de esgoto, sua utilização ajudou agregar mais massa na parte aérea e radicular.

Machado et al. (2011) relataram que *Trichoderma* pode favorecer o crescimento e a massa vegetal da parte aérea de plantas de aveia preta e massa seca de cornichão (*Lotus corniculatus* L), corroborando com esse trabalho. Para mudas de tomateiro, a aplicação de *Trichoderma* melhora o seu tamanho, massa seca e massa fresca, pois o mesmo é favorável para o crescimento e desenvolvimento das mudas (AMARAL et al., 2014).

5. CONCLUSÕES

I. Biochar de lodo de esgoto, produzido a 300 °C e utilizado em baixa concentração (0,6%), possui efeito direto no controle de *in vitro* de *Sclerotium rolfsii*.

II. *Trichoderma afroharzianum* (cepa T22) é eficiente no controle *in vitro* de *Sclerotium rolfsii*, em meio de cultura com ou sem biochar.

III. BCH afeta positivamente o comprimento, massa fresca e massa seca da parte aérea e radicular das mudas de tomate.

IV. O comprimento, massa fresca e massa seca da parte aérea e radicular, foram beneficiados pelo uso de *Trichoderma afroharzianum*.

V. A associação BCH + *T. afroharzianum* desenvolveu a parte aérea e radicular das plantas de tomate, assim como aumentou a massa fresca e seca das mesmas plantas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M. et al. **Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review** *Chemosphere* Elsevier Ltd, 2014.

AMARAL, F. L. et al. Influência de *Trichoderma* sp. no desenvolvimento de tomateiro cultivado em casa de vegetação. **Horticultura brasileira**, v. 31, n. 2, p. 1201–1205, 2014.

Anuário Brasileiro de Fruticultura. Gazeta ed. [s.l: s.n.]. v. 1

AULER, A. C. V.; CARVALHO, D. D. C.; MELLO, S. C. M. DE. Antagonismo de *Trichoderma harzianum* a *Sclerotium rolfsii* nas culturas do feijoeiro e soja. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 7, p. 359–365, 2013.

ÁVILA, A. C. DE et al. A Cultura do Tomate. **Embrapa Hortaliças**, 2016.

BONANOMI G et al. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. **Journal of Plant Pathology**, v. 89, p. 311–324, 2007.

BONANOMI, G.; IPPOLITO, F.; SCALA, F. A “black” future for plant pathology? Biochar as a new soil amendment for controlling plant diseases. **Journal of Plant Pathology**, v. 97, n. 2, p. 223–234, 28 ago. 2015.

CAESB. **Esgotamento Sanitário**.

CARVAJAL, L. H. et al. Evaluación de aislamientos de *Trichoderma* spp. contra *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium rolfsii* bajo condiciones in vitro y de invernadero. **Agronomía Colombiana**, v. 26, p. 541–458, 2008.

CARVALHO, C. R. F. et al. Viabilidade econômica e de risco da produção de tomate no município de Cambuci/RJ, Brasil. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 12, p. 2293–2299, 2014.

CEPEA. Perspectivas 2021: tomate. **Hf Brasil**, 2020.

CONAB. **Tomate: Análise dos Indicadores da Produção e Comercialização no Mercado Mundial, Brasileiro e Catarinense**. Conab ed. Brasília: [s.n.]. v. 21

ELAD, Y.; CHET, I.; KATAN, J. *Trichoderma harzianum*: A Biocontrol Agent Effective Against *Sclerotium rolfsii* and *Rhizoctonia solani*. **The American Phytopathological Society**, v. 70, p. 119–121, 1980.

ETHUR, L. Z.; CEMBRANEL, C. Z.; SILVA, A. C. F. DA. Seleção de *Trichoderma* spp. visando o controle de *Sclerotinia sclerotiorum*, in vitro. n. 5, p. 885–887, 2001.

EZZIYYANI, M. et al. Biocontrol por *Streptomyces rochei*-Ziyani-, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. **Anales de Biología**, v. 26, p. 69–78, 2004.

FARIA, F. A.; BUENO, C. J.; PAPA, M. D. F. S. Atividade fungitóxica de momordica charantia l. No controle de sclerotium rolfsii sacc. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 383–389, 2009.

FARRELL, M. et al. Microbial utilisation of biochar-derived carbon. **Science of the Total Environment**, v. 465, p. 288–297, 1 nov. 2013.

FIGUEIREDO, C. C. DE et al. Short-term effects of a sewage sludge biochar amendment on total and available heavy metal content of a tropical soil. **Geoderma**, v. 344, p. 31–39, 15 jun. 2019.

FONSECA, A. S. DA et al. Extratos vegetais do gênero capsicum com potencial atividade antifúngica contra Rhizoctonia solani e Sclerotium rolfsii. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 89–98, 6 jan. 2020.

GUANGFEI, W. et al. Application-rate-dependent effects of straw biochar on control of Phytophthora blight of chilli pepper and soil properties. **Acta Pedologica Sinica**, v. 57, p. 204–215, 2017.

GUÉDEZ, C. et al. Evaluación in vitro de aislamientos de Trichoderma harzianum para el control de Rhizoctonia solani, Sclerotium rolfsii y Fusarium oxysporum en plantas de tomate. **Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología**, v. 32, p. 44–49, 2012.

IBGE. **Indicadores IBGE**. [s.l: s.n.].

IBI. **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil**. [s.l: s.n.]. v. 2.1

IBM CORP. **IBM SPSS Statistics for Windows** Armonk, NY IBM Corp. 2015, 2015.

IPPOLITO, J. A.; LAIRD, D. A.; BUSSCHER, W. J. Environmental Benefits of Biochar. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, n. 4, p. 967–972, jul. 2012.

JAISWAL, A. K. et al. Linking the Belowground Microbial Composition, Diversity and Activity to Soilborne Disease Suppression and Growth Promotion of Tomato Amended with Biochar. **Scientific Reports**, v. 7, 13 mar. 2017.

JAISWAL, A. K. et al. Biochar as a management tool for soilborne diseases affecting early stage nursery seedling production. **Crop Protection**, v. 120, p. 34–42, 1 jun. 2019.

JAISWAL, A. K. et al. Molecular insights into biochar-mediated plant growth promotion and systemic resistance in tomato against Fusarium crown and root rot disease. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 1 dez. 2020.

JEFFERY, S. et al. **A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis** Agriculture, Ecosystems and Environment Elsevier B.V., , 2011.

JUMA, N. et al. **Lycopene as an antioxidant agent** Rev. Nutr. [s.l: s.n.].

LEHMANN, J. et al. **Biochar effects on soil biota - A review** *Soil Biology and Biochemistry*, set. 2011.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management**. Earthscan ed. London: [s.n.]. v. 1

LIFSHITZ; WINDHAM M. T.; RALPH BAKER. Mechanism of Biological Control of Preemergence Damping-off of Pea by Seed Treatment with *Trichoderma* spp. **Ecology and Epidemiology**, v. 76, p. 720–725, 1986.

LIMA, J. R. D. S. et al. Biochar de Lodo de Esgoto Aumenta a Produção e Eficiência no Uso de Água da Alface. **Revista brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 1720–1729, 2020.

LIMA, J. R. DE S. et al. Produção e eficiência no uso de água do feijão comum adubado com biochar. **Diversitas Journal**, v. 4, n. 3, p. 1146–1155, 3 out. 2019.

LUCON, C. M. M.; CHAVES, A. L. R.; BACILIERI, S. **Trichoderma: o que é, para que serve e como usar corretamente na lavoura**. Instituto Biológico ed. São Paulo: [s.n.]. v. 1

MACHADO, R. G. et al. Promoção de crescimento de *Lotus corniculatus* L. e *Avena strigosa* Schreb pela inoculação conjunta de *Trichoderma harzianum* e rizóbio. **Ciência e natureza UFSM**, v. 33, p. 111–126, 2011.

MARTINS, M. V. V. et al. Effect of the temperature and substrate moisture on the viability of *Sclerotium rolfsii*. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 217–222, 2010.

MEDEIROS, E. V. et al. Biochar and *Trichoderma aureoviride* applied to the sandy soil: Effect on soil quality and watermelon growth. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 48, n. 2, p. 735–751, 2020.

METCALF, D. A.; WILSON, C. R. **The process of antagonism of *Sclerotium cepivorum* in white rot affected onion roots by *Trichoderma koningii*** *Plant Pathology*. [s.l: s.n.].

MILANESI, P. M. et al. Biocontrole de *Fusarium* spp. com *Trichoderma* spp. e promoção de crescimento em plântulas de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 347–356, 2013.

MISAGHI, I. J.; DONNDELINGER, C. R. Special Topics Endophytic Bacteria in Symptom-Free Cotton Plants. **PHYTOPATHOLOGY**, v. 80, p. 808–811, 1990.

MOREIRA, G. C. et al. Uso da matéria orgânica na síntese de pigmentos fotossintéticos e crescimento de *Salvia officinalis* isolados de *Trichoderma* spp. In: [s.l: s.n.]. p. 329–339.

MYCOBANK. **Database**.

NASCENTE, A. S. et al. **Trichoderma: uso na agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019a. v. 1

NASCENTE, A. S. et al. **Trichoderma uso na agricultura**. [s.l: s.n.]. v. 1

NOVAK, J. M. et al. Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. **Soil Science**, v. 177, n. 5, p. 310–320, maio 2012.

OLIVEIRA, J. B. DE et al. Efeito da aplicação de biochar sobre o carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com melão. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 368–377, 2021.

PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 525–531, 2001.

PEDRO, E. A. DE S. et al. **Promoção do crescimento do feijoeiro e controle da antracnose por Trichoderma spp** *Pesq. agropec. bras.* [s.l: s.n.].

RESENDE, M. DE L. et al. Inoculação de sementes de milho utilizando o *Trichoderma harzianum* como promotor de crescimento. **Ciência Agrotec**, v. 28, p. 793–798, 2004.

REYES, R. A. et al. Actividad in vivode *Trichoderma harzianum*sobre *Sclerotium rolfsii* en plántulas de tomate. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, v. 66, p. 45–48, 2002.

SÁ, M. N. F. DE et al. Efeito de *Bacillus* sp. e *Trichoderma* sp. no crescimento micelial de *Sclerotium rolfsii*. **Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 2, p. 79–81, 2019.

SANI, M. N. H. et al. Impact of application of *Trichoderma* and biochar on growth, productivity and nutritional quality of tomato under reduced N-P-K fertilization. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 1, p. 107–115, 1 jun. 2020.

SARAVANAKUMAR, K. et al. Effect of *Trichoderma harzianum* on maize rhizosphere microbiome and biocontrol of *Fusarium* Stalk rot. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 1 dez. 2017.

SHACKLEY, S. et al. Sustainable gasification-biochar systems? A case-study of rice-husk gasification in Cambodia, Part I: Context, chemical properties, environmental and health and safety issues. **Energy Policy**, v. 42, p. 49–58, mar. 2012.

SILVA, A. K. T. DA et al. Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 477–490, 2012.

SILVA, J. B. C. DA et al. Cultivo do tomate para industrialização. **Embrapa Hortaliças**, 2003.

SILVA, M. G. N. DA et al. Extratos vegetais de angico e pau-ferro no controle de fitopatógenos e na fisiologia de sementes de soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 63012–63024, 2020.

SILVA, J. A. et al. Reação de genótipos de feijão-fava a *Sclerotium rolfsii*. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 98–101, 2014.

SRIDHARAN, A. P. et al. Comprehensive profiling of the VOCs of *Trichoderma longibrachiatum* EF5 while interacting with *Sclerotium rolfsii* and *Macrophomina phaseolina*. **Microbiological Research**, v. 236, 1 jun. 2020.

STEFANELLO, L. et al. Manejo da podridão radicular da mandioca pela combinação de manejo de solo, variedade resistente e controle biológico *Trichoderma harzianum*. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 13, p. 31–45, 2017.

SURIYAGAMON, S. et al. Compost seed of *trichoderma harzianum* UD12-102 in controlling collar and stem rot of tomato caused by *sclerotium rolfsii*. **Environment and Natural Resources Journal**, v. 16, n. 2, p. 20–28, 2018.

SYSTAT SOFTWARE. **SigmaPlot for Windows** Point Richmond, CA, USASPSS Inc, , 2006.

VEASEY, E. A. et al. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1218–1228, 2011.

WANG, G. et al. Biochar-Mediated Control of Phytophthora Blight of Pepper Is Closely Related to the Improvement of the Rhizosphere Fungal Community. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, 8 jul. 2020.

ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. **Biological functions of Trichoderma spp. for agriculture applications** **Annals of Agricultural Sciences** Faculty of Agriculture, Ain-Shams University, , 1 dez. 2020.