

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE DOUTORADO**

**MANEJO DE PATÓGENOS RADICULARES DA  
MANDIOCA POR MEIO DE AGENTES DE  
BIOCONTROLE FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA E  
CARVÃO VEGETAL**

**Cheila Bonati do Carmo de Sousa**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
OUTUBRO - 2025**

# **MANEJO DE PATÓGENOS RADICULARES DA MANDIOCA POR MEIO DE AGENTES DE BIOCONTROLE FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA E CARVÃO VEGETAL**

Cheila Bonati do Carmo de Sousa  
Tecnóloga em Agroecologia, UFRB, 2017  
Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas, UFRB, 2020

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Agricultura Tropical).

**Orientador:** Prof. Dr. Saulo Santos Alves de Oliveira  
**Coorientador:** Prof. Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
OUTUBRO - 2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

S725m

Sousa, Cheila Bonati do Carmo de.

Manejo de patógenos radiculares da mandioca por meio de agentes de biocontrole fontes de matéria orgânica e carvão vegetal / Cheila Bonati do Carmo de Sousa.\_ Cruz das Almas, BA, 2025.

154f.

(Tese) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Doutorado em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Alves Santos de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Francisco Alisson da Silva Xavier.

1.Mandioca – Manejo – Doenças. 2.Mandioca – Podridão radicular. 3.Fungos – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.682

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB.  
Responsável pela Elaboração – Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário  
- CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE DOUTORADO**

**MANEJO DE PATÓGENOS RADICULARES DA MANDIOCA  
POR MEIO DE AGENTES DE BIOCONTROLE FONTES DE  
MATÉRIA ORGÂNICA E CARVÃO VEGETAL**

Comissão Examinadora da Defesa de Tese de

Cheila Bonati do Carmo de Sousa

Aprovada em 31 de outubro de 2025

Dr. Saulo Alves Santos de Oliveira  
Embrapa Mandioca e Fruticultura  
Orientador

Dr<sup>a</sup>. Aline Simões da Rocha Bispo  
Embrapa Mandioca e Fruticultura  
Examinadora Externa

Dr<sup>a</sup>. Caliane da Silva Braulio  
Universidade do Estado da Bahia  
Examinadora Externa

Profa. Dr<sup>a</sup>. Leilane Silveira D'Ávila  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB  
Examinadora Externa

Profa. Dr<sup>a</sup>. Rafaela Simão Abrahão  
Nóbrega  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB  
Examinadora Interna

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, por ser minha fonte de força, sabedoria e determinação, e por todo o Seu amor.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu Pai, Jesus Cristo, o meu Senhor, e ao Espírito Santo de Deus, o meu guia, por me guiar e me sustentar com tanto amor e cuidado.

Expresso minha gratidão ao meu marido, meu companheiro em todos os momentos, por seu apoio e amor incondicional, e pela contribuição para a concretização deste trabalho.

Aos meus filhos, agradeço pelo imenso amor. Ao meu primogênito, que me acompanhou durante todo o ciclo do ensino superior, pela força nos momentos desafiadores e por tanto carinho. Ao meu bebê que, gerado durante este trabalho, tem trazido alegria, calma e força para continuar a caminhada.

Agradeço aos meus pais, pelo apoio constante e pela ajuda fundamental para a conclusão deste trabalho. Às minhas irmãs, sou grata por toda a assistência, pelas palavras de incentivo e pelo suporte que me permitiu chegar até aqui. Estendo minha gratidão a todos os familiares que oraram, torceram por mim e contribuíram de alguma forma para este êxito.

Registro meu agradecimento ao meu orientador, pela orientação, incentivo e compreensão, sem os quais não teria sido possível concluir este trabalho. Ao meu coorientador, expresso minha gratidão pela ajuda e estímulo, que foram determinantes para o resultado alcançado.

Agradeço à equipe da mandioca, em particular a Tábata, Camila, Selma, Cíntia, Rodrigo, Jéssica, Poliana, Rafaela e Irene, bem como aos demais colegas que colaboraram em todas as etapas, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Sou grata aos amigos de todos os momentos, Elisandra, Gilma, Lilian, Andreza, Caliane e Elisângela, que me apoiaram nos momentos difíceis, e pela amizade de todos os momentos.

Agradeço aos colegas, especialmente Raissa, Rhavena e Danilo, pela colaboração no trabalho.

Manifesto minha gratidão à equipe do Laboratório de Fitopatologia, em especial ao Dr. Leandro, senhor João, Sinésio, Domingos, Flávia e Liliane, pelo apoio recebido. À equipe do Laboratório de Física e Química do Solo da Embrapa, especialmente Dr. Nafez e senhor Roque, sou grata pela ajuda prestada.

Agradeço a todos os professores e professoras que contribuíram para meu aprendizado. À coordenação, colegiado e secretaria do Programa de Pós-Graduação, reconheço a competência com que realizam seu trabalho.

Agradeço à equipe do Setor de Transporte da UFRB e Embrapa, pelo apoio nas demandas para execução do trabalho, bem como à equipe da Podium, Laje, BA, pela colaboração na pesquisa e pela experiência adquirida.

Agradeço ao CNPq e FAPESB pelo aporte financeiro, para o desenvolvimento deste projeto.

Por fim, agradeço a todos e todas, que de alguma forma, tenha contribuído para a minha chegada até aqui.

Muito obrigada!

## EPÍGRAFE

Elevo os meus olhos para os montes: de onde me virá o socorro?  
O meu socorro vem do Senhor, que fez o céu e a terra.  
Não deixará vacilar o teu pé; aquele que te guarda não tosquenejará.  
Eis que não tosquenejará nem dormirá o guarda de Israel.  
O Senhor é quem te guarda; o Senhor é a tua sombra à tua direita.  
O sol não te molestará de dia, nem a lua, de noite.  
O Senhor te guardará de todo o mal; ele guardará a tua alma.  
O Senhor guardará a tua entrada e a tua saída, desde agora e para sempre.  
(Salmos 121, ARC).

# MANEJO DE PATÓGENOS RADICULARES DA MANDIOCA POR MEIO DE AGENTES DE BIOCONTROLE FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA E CARVÃO VEGETAL

## RESUMO GERAL

O manejo integrado é uma estratégia em potencial que pode promover efeitos positivos sobre o crescimento de mudas da mandioca e potencializar o controle das podridões radiculares, que se constituem como um dos principais problemas relacionados à cultura, causando efeito negativo sobre o rendimento agrícola e elevação dos custos de produção. Este estudo está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo, objetivou-se avaliar o efeito do *Trichoderma asperellum* sobre o crescimento de mudas da mandioca, em condições de solo esterilizado e não-esterilizado. A aplicação do mix de *T. asperellum* promoveu o maior crescimento das mudas nas duas condições avaliadas, contudo seu efeito foi dependente do genótipo avaliado. No capítulo 2, o objetivo foi avaliar o efeito da associação entre *T. asperellum* combinado à adubação orgânica, sobre o crescimento das mudas e controle da podridão radicular. O manejo integrado promoveu o maior crescimento das mudas mesmo sob presença dos patógenos. O efeito do biocontrole foi potencializado pelas adubações. Os resultados apresentaram efeito genótipo-dependente. No terceiro capítulo, o objetivo foi avaliar o efeito da inoculação com *T. asperellum* combinado à adubação verde sobre o crescimento da mandioca e o controle fitossanitário. O complexo de patógenos aumentou a severidade dos sintomas de doenças nas variedades avaliadas, porém esse efeito foi minimizado pela aplicação de biocontrole e adubação verde. No quarto capítulo, objetivou-se avaliar o manejo de *Pratylenchus* spp. na cultura da mandioca, por meio da associação entre carvão vegetal e diferentes genótipos de mandioca. Observou-se que a população de nematoides foi reduzida com a incorporação do carvão vegetal ao solo. Conclui-se que o manejo integrado constitui uma estratégia eficaz no controle da podridão radicular, promovendo efeitos positivos sobre a produtividade da mandiocultura.

**Palavras-chave:** *Manihot esculenta* Crantz, Nematoides, Patógenos do solo, *Trichoderma asperellum*.

## GENERAL ABSTRACT

### MANAGEMENT OF CASSAVA ROOT PATHOGENS THROUGH BIOCONTROL AGENTS, ORGANIC MATTER SOURCES, AND BIOCHAR

**ABSTRACT:** Integrated management is a promising strategy that can promote positive effects on cassava seedling growth and enhance the control of root rots, which constitute one of the main problems affecting the crop, causing negative impacts on yield and increasing production costs. This study is divided into four chapters. In the first chapter, the objective was to evaluate the effect of *Trichoderma asperellum* on cassava seedling growth under sterilized and non-sterilized soil conditions. The application of the *T. asperellum* mix promoted greater seedling growth in both conditions; however, its effect was dependent on the evaluated genotype. In the second chapter, the objective was to assess the effect of combining *T. asperellum* with organic fertilization on seedling growth and root rot control. Integrated management enhanced seedling growth even in the presence of pathogens. The biocontrol effect was strengthened by organic amendments, and the results showed genotype-dependent responses. In the third chapter, the objective was to evaluate the effect of *T. asperellum* inoculation combined with green manure on cassava growth and phytosanitary control. The pathogen complex increased disease severity in the evaluated varieties; however, this effect was mitigated by the application of biocontrol and green manure. In the fourth chapter, the objective was to assess the management of *Pratylenchus* spp. in cassava through the association between biochar and different cassava genotypes. A reduction in nematode population was observed with the incorporation of biochar into the soil. It is concluded that integrated management is an effective strategy for controlling root rot, promoting positive effects on cassava productivity.

**Keywords:** *Manihot esculenta* Crantz, Nematodes, Soilborne pathogens, *Trichoderma asperellum*.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**Tabela 1.** Efeito isolado para alturas de plantas em resposta ao fator cultivares, da aplicação com Mix de *Trichoderma asperellum* sobre a colonização externa (Colext), e do tratamento do solo sobre a colonização interna (Colint), em plantas de mandioca.....50

### CAPÍTULO 2

**Tabela 1.** Caracterização físico-químico da cama de aviário e da torta de mamona.....62

**Tabela 2.** Médias em função do efeito individual dos fatores: aplicação do biocontrole; e inoculação com patógenos, sobre a massa fresca de raiz (g planta<sup>-1</sup>), em mudas do genótipo BRS Poti Branca.....76

**Tabela 3.** Médias em função do efeito individual da aplicação do biocontrole sobre as variáveis: altura e massa fresca de parte aérea (MFPA) (g planta<sup>-1</sup>), e efeito da inoculação com patógenos sobre as variáveis: massa fresca de raiz (MFR) (g planta<sup>-1</sup>) e massa seca de parte aérea (MSPA) (g planta<sup>-1</sup>), em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte.....76

### CAPITULO 3

**Tabela 1.** Médias para as variáveis avaliadas em mudas do genótipo BRS Poti Branca, em resposta a aplicação do biocontrole (Mix de *Trichoderma asperellum*); inoculação dos patógenos (isolados de podridão radicular), e incorporação de fontes de adubação orgânica.....100

**Tabela 2.** Médias para a massa seca de raiz (MSR) (g planta<sup>-1</sup>) em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte, em resposta a aplicação do biocontrole (Mix de *Trichoderma asperellum*); inoculação dos patógenos (isolados de podridão radicular), e incorporação de fontes de adubação orgânica.....103

### CAPÍTULO 4

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do carvão vegetal.....129

**Tabela 2.** Efeito do carvão vegetal (com; sem) e inoculação de nematóides (presença; ausência) sobre as variáveis: massa seca de parte aérea (MSPA)

e número de hastes (NHASTES), em mudas de  
mandioca.....137

**Tabela 3.** Médias do número de nematoides no solo (NSOLO) e nas raízes  
(NRAIZ) em função da adição de carvão vegetal (com e sem) e diferentes  
genótipos de mandioca.....137

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

**Figura 1.** Médias e gráficos de boxplot em função da aplicação do Mix de *Trichoderma asperellum*, tratamento do solo e genótipos, para as variáveis: A) massa seca de parte aérea (MSPA g planta<sup>-1</sup>), e B) massa fresca de raiz (MFR g planta<sup>-1</sup>), e C) massa seca de raiz (MSR g planta<sup>-1</sup>), em mudas de mandioca.....47

**Figura 2.** Médias e gráficos de Boxplot em função da aplicação do Mix de *Trichoderma asperellum* e tratamento do solo, para as variáveis: A) massa fresca parte aérea (MFPA g planta<sup>-1</sup>), e B) altura de plantas (cm planta<sup>-1</sup>), em mudas de mandioca.....48

**Figura 3.** Médias e gráficos de boxplot em resposta ao efeito da aplicação do Mix de *Trichoderma asperellum* vs genótipos, para as variáveis: A) massa fresca parte aérea (MFPA g planta<sup>-1</sup>), e B) colonização interna (Colint), em mudas de mandioca.....49

### CAPÍTULO 2

**Figura 1.** Porcentagem de inibição do crescimento micelial (PICM) de isolados de *Trichoderma asperellum* (CMF 1007 e CMF 1006) sobre isolados de *Fusarium oxysporum* e *F. solani*, in vitro (A); e taxa de crescimento dos isolados de fungos associados à podridão radicular da mandioca (B).....67

**Figura 2.** Inibição do crescimento por atividade antagonista do *T. asperellum* (CMF 1007) sobre o crescimento micelial do *F. oxysporum* (A) e *F. solani* (B); e do *T. asperellum* (CMF 1006) sobre *F. oxysporum* (C) e *F. solani* (D).....67

**Figura 3.** Médias e Boxplot em resposta à adubação orgânica, aplicação de agentes de biocontrole e inoculação com patógenos de podridão radicular, sobre as variáveis: (A) altura (cm planta<sup>-1</sup>), B) massa seca de raiz (g planta<sup>-1</sup>); C) colonização externa (Colext), E) colonização externa (Colext), em mudas de BRS Poti Branca; D) colonização interna (Colint), e F) colonização interna (Colint), em mudas de BRS Novo Horizonte.....69

**Figura 4.** Médias e gráfico de Boxplot em resposta a aplicação do biocontrole e adubação orgânica sobre as variáveis: A) vigor, B) massa seca de parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) em mudas do genótipo BRS Poti Branca; e C) vigor, D) massa seca de raiz (g planta<sup>-1</sup>) em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte. ....72

**Figura 5.** Médias e gráfico de Boxplot em resposta ao efeito da inoculação dos patógenos e adubação orgânica, sobre as variáveis: A) vigor, B) massa fresca de parte aérea (g planta<sup>-1</sup>), C) massa seca de parte aérea (g planta<sup>-1</sup>),

em mudas do genótipo BRS Poti Branca; e D) massa seca de parte aérea (g planta<sup>-1</sup>), em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte.....74

**Figura 6.** Médias e gráfico de Boxplot em função do efeito da inoculação dos patógenos e aplicação do biocontrole, sobre as variáveis: A) vigor, B) massa seca de parte aérea (g planta<sup>-1</sup>), em mudas do genótipo BRS Poti Branca; e C) massa seca de raiz (g planta<sup>-1</sup>), em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte.. .....75

### CAPITULO 3

**Figura 1.** Médias e gráfico de Boxplot em função da interação dupla entre aplicação com *Trichoderma asperellum* (sem e com) e inoculação com patógenos (sem e com), para as variáveis: A) altura (cm planta<sup>-1</sup>), B) vigor; C) massa fresca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (MFPA); e D) massa fresca de raiz (g planta<sup>-1</sup>)(MFR), em mudas de BRS Novo Horizonte..... 104

**Figura 2.** Médias e gráfico de Boxplot em função da interação entre biocontrole vs adubação verde, para as variáveis: A) massa fresca parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (MFPA), e B) massa seca parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (MSPA), de mudas de mandioca, genótipo BRS Novo Horizonte..... 106

**Figura 3.** Médias e gráfico de Boxplot em função da interação dupla entre adubo vs patógeno, para as variáveis: A) massa fresca parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (MFPA), B) massa seca parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (MSPA), C) massa fresca de raiz (g planta<sup>-1</sup>) (MFR), D) colonização interna de maniva (Colint), em mudas de mandioca, genótipo BRS Novo Horizonte..... 107

### CAPÍTULO 4

**Figura 1.** Médias e boxplot para o efeito do carvão vegetal (com e sem), inoculação de nematóides (presença; ausência) e genótipos de mandioca, sobre as variáveis: A) altura, B) massa fresca de raiz (MFR), C) volume de raiz, e D) massa fresca da parte aérea (MFPA)..... 134

## SUMÁRIO

<b>1.0</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>16</b>
<b>2.0</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1	<i>Manihot esculenta</i> Crantz.....	18
2.2	Doenças radiculares da mandioca e seu impacto na produtividade.....	20
2.3	Fitonematoides na agricultura.....	22
2.4	Manejo das doenças radiculares da mandioca	24
2.4.1	Matéria orgânica como indutora da supressividade do solo.....	25
2.4.2	Benefícios da adubação verde ao solo e às culturas.....	26
2.4.3	Efeito do carvão vegetal sobre o solo e culturas agrícolas.....	28
2.5	Uso de <i>Trichoderma spp.</i> na agricultura: promoção de crescimento vegetal e controle biológico.....	30
<b>3.0</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>
	<b>CAPÍTULO 1 – Efeito do <i>Trichoderma asperellum</i> no crescimento inicial de mudas de BRS Kiriris e BRS Formosa.....</b>	<b>38</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>39</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>40</b>
<b>1.0</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>2.0</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
2.1	Teste de compatibilidade entre os isolados biocontroladores.....	42
2.2	Plantio dos genótipos com inoculação de <i>T. asperellum</i> em solo esterilizado e não esterilizado.....	43
2.3	Preparação dos inóculos de biocontrole.....	44
2.4	Análise estatística.....	45
<b>3.0</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>4.0</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>5.0</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
<b>6.0</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
	<b>CAPÍTULO 2 - Bioinsumos associados à adubação orgânica no controle de patógenos radiculares na mandioca.....</b>	<b>57</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>58</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>59</b>
<b>1.0</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>2.0</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>61</b>
2.1	Teste de antagonismo <i>in vitro</i> entre isolados de biocontrole e patógenos radiculares.....	61
2.2	Ensaio experimental.....	62
2.3	Preparação dos inóculos dos fitopatógenos e dos agentes de biocontrole.....	65
2.4	Análise estatística.....	66
<b>3.0</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>

4.0	<b>DISCUSSÃO</b> .....	77
5.0	<b>CONCLUSÕES</b> .....	81
6.0	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	81
	<b>CAPÍTULO 3 - Controle de doenças radiculares da mandioca: O potencial das coberturas verdes e do <i>Trichoderma asperellum</i></b> .....	90
	<b>RESUMO</b> .....	91
	<b>ABSTRACT</b> .....	92
1.0	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	93
2.0	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	95
2.1	Ensaio experimental.....	95
2.2	Fontes e preparação do inóculo dos fitopatógenos causadores das podridões radiculares na mandioca e agentes de biocontrole.....	97
2.3	Análise estatística.....	98
3.0	<b>RESULTADOS</b> .....	98
4.0	<b>DISCUSSÃO</b> .....	108
5.0	<b>CONCLUSÕES</b> .....	115
6.0	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	116
	<b>CAPÍTULO 4 - Manejo integrado de <i>Pratylenchus spp.</i>: genótipos de mandioca e adição de carvão vegetal</b> .....	124
	<b>RESUMO</b> .....	125
	<b>ABSTRACT</b> .....	126
1.0	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	127
2.0	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	128
2.1	Ensaio experimental.....	128
2.2	Extração e contagem de <i>Pratylenchus spp.</i> no solo e nas raízes.....	131
2.3	Análise estatística.....	132
3.0	<b>RESULTADOS</b> .....	133
4.0	<b>DISCUSSÃO</b> .....	139
5.0	<b>CONCLUSÕES</b> .....	143
6.0	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	143

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A mandiocultura representa grande importância econômica e social para o Brasil (LINHARES et al., 2018; AJAYI; OLUTUMISE, 2018). Um dos grandes problemas bióticos que prejudicam o cultivo da mandioca com impacto direto no campo está a podridão radicular, complexo etiológico que, no Brasil, envolve sobretudo fungos como *Fusarium* spp., *Lasiodiplodia theobromae*, *Neoscytaludium* ssp., com relatos de oomicetos *Phytophthora/Phytophthora* em condições de encharcamento, o que leva a perda de produtividade, compromete as áreas de cultivos durante os próximos ciclos da cultura (NOTARO et al., 2013; STEFANELLO et al., 2017), além de inutilização tecnológica das raízes (ALVES et al., 2020), promovendo prejuízos econômicos aos agricultores, sobretudo, os da agricultura familiar.

Além das podridões, as raízes da mandioca são acometidas pelos fitonematoides que não podrecem diretamente as raízes como os patógenos fúngicos, mas espécies do gênero *Pratylenchus* ssp. formam lesões e são frequentes em mandioca no Brasil, além de reduzir vigor, esses nematoides predispõem as raízes a podridões secundárias (YANG et al., 2016; BARBOSA et al., 2024).

Outro fator relevante é que a multiplicação e dispersão dos fitopatógenos associados às podridões radiculares ocorrem, principalmente, pelo uso de manivas-semente infectadas. Como o cultivo da mandioca é realizado via propagação vegetativa, a segmentação do caule da planta-matriz para a formação de novas mudas favorece a transmissão de patógenos entre ciclos produtivos (SILVA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2020). Dessa forma, torna-se essencial a produção e utilização de mudas saudáveis no campo, visando prevenir a introdução e disseminação das doenças radiculares.

Na tentativa de controlar/minimizar doenças radiculares que acometem a mandiocultura, pesquisas vêm sendo realizadas com base em estratégias alternativas de manejo das podridões como, o incremento de matéria orgânica ao solo e/ou controle biológico (SILVA et al., 2013; FERREIRA et al., 2021). A matéria orgânica fornece nutrientes que são utilizados pelos microrganismos, e sua presença no solo promove maior

diversidade, especialmente dos microrganismos benéficos, aumentando a capacidade do solo em suprimir as podridões radiculares (SILVA et al, 2013).

A aplicação de *Trichoderma* ssp. tem se mostrado eficiente em promover crescimento vegetal, resultando em plantas mais vigorosas, com ganhos na biomassa aérea e desenvolvimento radicular (HUGAR; NAYAKAM, 2025; ILLESCAS et al., 2021; MEHETRE; MUKHERJEE, 2015). Além disso, atua como potencial agente de controle biológico auxiliando as plantas contra doenças (BADER et al., 2020), atuando na supressão de patógenos por meio de diferentes mecanismos diretos (GUÉDEZ et al., 2009; ADNAN et al., 2019) e indiretos (SARAVANAKUMAR et al., 2016; YANG et al., 2023).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes fontes de matéria orgânica combinadas ou não com agentes de controle biológico sobre o crescimento de mudas da mandioca e na supressão de podridão de raízes.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Manihot esculenta* Crantz

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) permanece, na última década, como um dos pilares dos sistemas alimentares tropicais e da indústria de amidos (BORKU et al., 2025). Em 2023, a produção mundial alcançou cerca de 334 milhões de toneladas, com destaque para a África Ocidental e o Sudeste Asiático como principais regiões de expansão entre 2014 e 2023, mantendo a Nigéria como maior produtora (IBGE, 2023).

No Brasil, embora a cultura apresente grande relevância socioeconômica, a produção diminuiu de 21,5 milhões de toneladas em 2013 para 18,5 milhões de toneladas em 2023, com redução proporcional da área cultivada, mas leve incremento de produtividade média (FAO, 2023). A produção permanece concentrada no Pará, Paraná e estados do Nordeste, onde coexistem polos industriais mais tecnificados e áreas familiares com menor mecanização e produtividade estagnada (IBGE, 2024).

Além de sua importância econômica, *M. esculenta* é amplamente valorizada devido à versatilidade de uso. Pertencente à família Euphorbiaceae, é conhecida como mandioca ou aipim na região do Recôncavo Baiano, apresentando raízes destinadas ao consumo in natura e à indústria de alimentos (COSMO et al., 2020), além de aplicações farmacêuticas, produção de álcool e formulação de ração animal (ONASANYA et al., 2021). Para consumo fresco, são preferidas as variedades classificadas como doces, com teores de ácido cianídrico (HCN) inferiores a 50 ppm, ausência de fibras perceptíveis na massa cozida e raízes com 20 a 30 cm (CHISTÉ; COHEN, 2008; COSMO et al., 2020).

No comércio exterior, o Brasil possui participação modesta quando comparado a grandes exportadores asiáticos, e sua pauta é fortemente concentrada na fécula de mandioca (EMBRAPA, 2024). A competitividade da fécula brasileira decorre de suas propriedades tecnológicas, como alta viscosidade, claridade da pasta, sabor neutro e baixo teor proteico, características desejáveis para aplicações industriais em espessantes, panificação sem glúten e adesivos (OBIOMA et al., 2021). Nesse contexto, o

melhoramento genético tem buscado ampliar atributos industriais e, principalmente, aumentar a resistência às principais doenças da cultura, com destaque para as podridões radiculares.

O desenvolvimento de cultivares adaptadas a ambientes com alta pressão de patógenos tem sido estratégico. A BRS Kiriris, por exemplo, foi lançada para regiões com elevada incidência de podridão radicular no Agreste de Sergipe e Tabuleiros Costeiros, demonstrando resistência comprovada e boa tolerância à seca, com aptidão industrial (FUKUDA et al., 2002; EMBRAPA, 2017). A BRS Poti, desenvolvida pela Embrapa Amazônia Oriental, também apresenta tolerância à podridão radicular e é indicada para ambientes com encharcamento episódico (ALBUQUERQUE et al., 2007).

Já a BRS Poti Branca, destinada à produção de farinha e fécula na Bahia, apresenta teor de matéria seca de 32% e elevado potencial de extração, mas não possui resistência específica à podridão radicular, demandando manejo preventivo rigoroso (EMBRAPA, 2018a). No sentido oposto, a BRS Formosa mostra destaque pela resistência à bacteriose, relevante em áreas de Cerrado, embora seja suscetível à podridão radicular, exigindo critérios de drenagem e manejo do microrelevo (EMBRAPA, 2003; SOUSA et al., 2024). A BRS Novo Horizonte, por sua vez, foi desenvolvida para maximizar rendimento de matéria seca e amido, com alta aptidão industrial e excelente adaptação à mecanização (EMBRAPA, 2018b).

Para ampliar a oferta de material propagativo de qualidade genética e sanitária, iniciativas como a Reniva têm assumido papel relevante, ao organizar redes de multiplicação de manivas-semente indexadas, com identidade varietal assegurada e livres de vírus, além de promover tecnologias de miniestacas e viveiros clonais, que aumentam a taxa de multiplicação e reduzem custos logísticos (EMBRAPA, 2013; SOUZA; KALID, 2022).

A adoção integrada de cultivares industriais de alto teor de matéria seca, como a BRS Novo Horizonte, associada ao escalonamento de plantios em áreas bem drenadas, rotação com gramíneas para redução do inóculo de patógenos de solo e de fitonematoides do gênero *Pratylenchus*, além do uso de controle biológico para pragas como mandarová e ácaros, compõe um conjunto de práticas capazes de elevar a eficiência produtiva (EMBRAPA,

2018b; BONFIM JUNIOR et al., 2024). Assim, apesar das reduções recentes de área e volume, a mandiocultura brasileira mantém-se estratégica, e seu avanço depende da integração entre genética, sanidade de manivas, manejo da drenagem e intensificação sustentável.

Diante da complexidade etiológica das podridões radiculares, envolvendo tanto fungos e oomicetos quanto fitonematoides, torna-se necessário avançar para estratégias de manejo integradas e sustentáveis, discutidas a seguir.

## **2.2 Doenças radiculares da mandioca e seu impacto na produtividade**

Assim como outras culturas, a mandioca é acometida por diferentes patógenos que afetam suas folhas ou raízes. Tem-se observado grande declive na produtividade da mandiocultura, principalmente, pela ocorrência de doenças de podridões radiculares, sendo considerada a doença mais grave e prejudicial (BANDYOPADHYAY et al., 2006; BARROS et al., 2014), por afetar diretamente o produto a ser comercializado (raízes da planta) (MACHADO et al., 2014), e tornar as áreas de cultivos inúteis para os próximos ciclos (STEFANELLO et al., 2017), devido as estruturas de resistência do patógeno que promovem a reincidência dos mesmo na área.

O uso de manivas-sementes contaminadas por patógenos é um dos fatores que mais tem contribuído com a disseminação da doença, devido promover a multiplicação contínua dos mesmos em áreas de cultivo (SILVA et al., 2013; BEZERRA et al., 2019).

A podridão mole, seca e negra em raízes da mandioca, tem causado grandes perdas de produção e prejuízos econômicos, podendo atingir a faixa de 100% de perda a depender da severidade da doença (FUKUDA, 1991; NOTARO et al., 2013), sendo um fator limitante para a mandiocultura. Espécies de patógenos causadores da podridão promovem ruptura nos tecidos das raízes levando ao aparecimento de sintomas como amarelecimento, murcha e queda das folhas, podendo causar a morte da planta ((BANDYOPADHYAY et al., 2006; MUNIZ et al, 2006).

Oomicetos do gênero *Phytophthora*, *Phythium* e *Phytopythium* são os patógenos mais relacionados com a podridão mole em raízes da cultura da

mandioca (STEFANELLO et al., 2017; BOARI et al., 2018; BOARI et al., 2019). Espécies desse gênero causaram 65% de morte em plantas de mandioca após oito dias de inoculação, demonstrando seu potencial de agressividade sobre a cultura (MUNIZ et al., 2006).

Além dos sintomas descritos anteriormente, plantas de mandioca com podridão mole também apresentam raízes com odor fétido, aparência aquosa e coloração marrom, que pode ocorrer em plantas novas ou adultas (BANDYOPADHYAY et al., 2006), após a formação de raízes tuberosas (STEFANELLO et al., 2017).

Solos com excesso de umidade favorecem a sobrevivência dos patógenos relacionados à podridão mole (STEFANELLO et al., 2017), sendo recomendado fazer leiras de 30 cm de altura para plantio em solos má drenados, como forma de controle da doença (BOARI et al., 2019).

A podridão seca em raízes da mandioca tem como agente causador principal espécies de fungos do gênero *Fusarium*, sendo observada a ocorrência desses em diferentes países com cultivo da mandioca (BANDYOPADHYAY et al., 2006, (NOTARO et al., 2013).

Espécies de *Fusarium* podem infectar a planta em todos os estádios vegetativos ou reprodutivos. Esses patógenos colonizam o colo da haste da mandioca causando obstrução dos tecidos vasculares, bloqueando o transporte de água e nutrientes, o que resulta em sintomas de clorose, queda foliar e colapso fisiológico da planta (NURCAHYANI et al., 2021; BANDYOPADHYAY et al., 2006), causando murcha e, em casos mais severos, posterior morte da planta (BANDYOPADHYAY et al., 2006; STEFANELLO et al., 2017). Raízes com aparência de desidratada, coloração variando de amarelada a parda, são os sintomas mais característicos da podridão seca em mandioca (MASSOLA et al., 2016).

Estudos na África Ocidental mostraram que *Fusarium* ssp. está presente em até 30% das raízes apodrecidas de mandioca após 12 meses de cultivo (BANDYOPADHYAY et al., 2006). Fatores abióticos podem favorecer a ocorrência de *Fusarium* ssp. no solo, como baixa umidade no solo (STEFANELLO et al., 2017), e temperatura. Observou-se maior esporulação desse fungo a uma temperatura de 28°C, e maior crescimento do micélio em 24 e 29°C, em condições controladas (HOHENFELD et al., 2018).

Além disso, espécies patogênicas como *Scytalidium lignicola*, *Neoscytalidium dimidiatum* e *Lasiodiplodia* ssp. são as mais relacionadas com a podridão negra da mandioca (SILVA et al., 2013; MACHADO et al., 2014; SILVA et al., 2017; BEZERRA et al., 2019). Essa doença tem causado grandes perdas de produção da mandiocultura (NOTARO et al., 2013), e se caracteriza pelo aparecimento de coloração escura na raiz, e presença de amolecimento sem odor (ALVES et al., 2020).

Diante desse contexto, fica evidente o impacto que os patógenos edáficos causam na mandiocultura. Associado a isso, a mandioca também é acometida pelos fitonematoides, que comprometem o sistema radicular e podem intensificar o ataque dos patógenos de solo sobre a cultura. O que será abordado na próxima seção.

### **2.3 Fitonematoides na agricultura**

A ocorrência de doenças radiculares na mandioca está diretamente relacionada à dinâmica dos organismos presentes no solo. Esse ambiente abriga uma ampla diversidade de macro e microrganismos os quais podem interagir com relações benéficas ou prejudiciais às plantas, por meio de interações complexas, que podem ainda interferir na resistência das plantas (SIMÃO et al., 2010; ROCHA et al., 2020).

Diversas culturas agrícolas são acometidas por fitonematoides, com relatos de perdas de produção em vários países (AKKER et al., 2014; NICOL et al., 2011), diante dessa problemática, pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de avaliar a interação entre patógenos e fitonematoides parasitas de plantas, sobre a severidade das doenças em culturas agrícolas (JULIATTI; RUANO, 1997; SIMÃO et al., 2010, ROCHA et al., 2020), visto que, os fitonematoides podem infectar a planta a partir de abertura nas raízes, causando lesões ((BRIDA et al., 2017; INOMOTO et al., 2011), como danos nos tecidos do córtex radicular.

Além disso, os nematoides podem propiciar a entrada de outros micróbios patogênicos como bactérias e fungos, levando ao apodrecimento nesse órgão (LI et al., 2017; GOMES et al., 2011), podendo ainda interferir na expressão e resistência da planta (ROCHA et al., 2020). Rocha e

colaboradores (2020) verificaram em seu trabalho que o nematoide *Radopholus similis* tem mecanismos capazes de interferir na resposta de defesa de cultivares de bananeira, tornando-as mais suscetíveis a doenças.

As espécies de nematoides mais comumente relacionadas as doenças das culturas agrícolas no Brasil são *Meloidogyne* spp., *Heterodera glycines*, *Pratylenchus brachyurus*, *Rotylenchulus reniformis*, sendo responsáveis por causar galhas-radiculares, cisto-da-soja, lesão-radicular e reniforme, respectivamente (DIAS et al., 2010; MACHADO, 2014). Levantamentos regionais com mandioca registram *P. brachyurus* como o mais prevalente na Amazônia brasileira, seguido por *M. incognita* e *M. javanica* (ROSA et al., 2014).

Diversos fatores ambientais e de manejo podem intensificar os danos causados por fitonematoides nas áreas de cultivo. O tipo de solo é um dos mais determinantes, visto que pode favorecer a sobrevivência e persistência desses organismos (ROSSETO; SANTIAGO, 2021), como também reduzir sua viabilidade (CLAVERO-CAMACHO et al., 2024).

Associado ao tipo de solo, a temperatura pode influenciar diretamente o metabolismo, a mobilidade e a taxa de eclosão dos juvenis, acelerando ou retardando seu ciclo de vida (CLAVERO-CAMACHO et al., 2024; ERKUT; KURZCHALIA, 2015; (RIBEIRO et al., 2020).). Enquanto que, a umidade pode atuar sobre a movimentação dos nematoides no solo, haja vista que esses indivíduos necessitam de finas películas de água entre as partículas para se movimentarem nesse ambiente.

Além desses fatores, a escolha de genótipos suscetíveis também contribui para maior infestação e multiplicação dos fitonematoides, ampliando seu impacto na cultura em genótipos suscetíveis, que facilitam sua infestação e multiplicação, (CLAVERO-CAMACHO et al., 2024; ERKUT; KURZCHALIA, 2015; RIBEIRO et al., 2020).

O controle dos fitonematoides no solo é dificultoso, e por isso, o controle dos mesmos deve se concentrar no manejo preventivo, visando restringir sua introdução, disseminação e multiplicação (JONES et al., 2013), como práticas de higienização adequada de equipamentos agrícolas, uso de material propagativo livre de nematoides, adoção de medidas quarentenárias (FERRAZ et al., 2012), controle biológico com microrganismos benéficos

(OLIVEIRA et al., 2021), rotação de culturas e incorporação de matéria orgânica nos solo (LY et al., 2017).

O aumento de matéria orgânica no solo se constitui como uma estratégia preventiva no controle dos fitonematoides por diminuir o seu nível populacional, uma vez que melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A maior retenção de água promovida pela matéria orgânica pode dificultar a movimentação dos nematoides em ambientes muito compactados ou com porosidade desfavorável, além de favorecer a atividade de microrganismos, que benéficas tanto a nutrição das plantas quanto sua resposta de defesa (LY et al., 2017; PERRY E MOENS, 2011).

Entretanto, é crucial avaliar a dose de insumos orgânicos a serem adicionados ao solo, haja vista que, em alguns casos, podem ter um efeito não desejável e favorecer a densidade populacional dos fitonematoides de vida livre no solo (LY et al., 2017).

Espécies do gênero *Pratylenchus* estabelece-se por meio de parasitismo em plantas suscetíveis, podendo causar perda de 50% da produção (DIAS et al., 2010), e têm a capacidade de permanecer nas raízes do hospedeiro em estado de dormência devido ao seu desenvolvimento (RIBEIRO et al., 2020).

Espécies de *Pratylenchus* têm maior longevidade em estágio de ovo quando comparado a seus estádios móveis (PERRY; MOENS, 2011). Em seu estágio juvenil J2, ele pode habitar tanto no solo como dentro das raízes, onde pode permanecer até se desenvolver para os estádios J3 e J4, ou ainda permanecer se movimentando entre esses ambientes o que agrava mais consideravelmente os danos radiculares, levando a lesões e necrose radicular (AKKER, et al., 2014).

## **2.4 Manejo das doenças radiculares da mandioca**

Na tentativa de controlar as doenças radiculares da mandioca, alguns produtores têm recorrido ao uso de agroquímicos com potencial fungicida e/ou nematicidas, mas a eficiência desses produtos tem sido baixa, principalmente porque os patógenos relacionados a podridões de raízes são habitantes do solo, o que dificulta a eficiência desses produtos químicos

industriais, além dos mesmos promoverem riscos ambientais e a saúde humana e animal (KASUYA et al., 2006; BARROS et al., 2014; BEZERRA et al., 2019).

Outra forma de tentar minimizar a severidade das doenças radiculares da mandiocultura tem sido por meio do uso de cultivares resistentes, associado a práticas de manejo que promovam maior controle das doenças e prolonguem a eficácia do controle varietal (BOAS et al., 2016).

Diante disso, tem-se tornado cada vez mais necessária à adoção de estratégias de manejo em sistemas produtivos da mandioca, que visam minimizar a densidade do inóculo nas áreas produtivas, e diminuir a severidade das doenças radiculares por meio da indução da supressividade do solo, com a incorporação da matéria orgânica ao solo (SILVA et al., 2013; BARROS et al., 2014; BEZERRA et al., 2019) e uso de agentes de biocontrole (BUENSANTEAI; ATHINUWAT, 2012; SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2017).

#### **2.4.1 Matéria orgânica como indutora da supressividade do solo**

A adubação orgânica tem sido frequentemente utilizada em sistemas de produção agrícola, por contribuir para a produção vegetal, por meio do fornecimento dos nutrientes necessários as plantas, além de contribuir para a qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (PARTEY et al., 2015; GALVÃO et al., 2019).

A incorporação de adubação orgânica no solo promove ainda aumento da diversidade e densidade de microrganismos nesse ambiente (BARROS et al., 2014), haja vista que exerce influencia direta sobre a biomassa microbiana dos solos (NGUYEN, MARSCHNER, 2017), por introduzir no sistema nutrientes que são fundamentais para o desenvolvimento das atividades dos micróbios (PARTEY et al., 2015), contribuindo para potencializar o potencial supressivo do solo, controlando assim a ocorrência e severidade das doenças (BAKER & COOK, 1974; MENDES ET AL., 2011). Contudo, a supressão do solo mediada por fontes de matéria orgânica é dependente de sistemas de cultivo que favorecem a maior entrada e conservação de Carbono no solo (STIRILING, 2014).

Neste sentido, a incorporação de fontes de adubação orgânica ao solo se apresenta como uma medida de controle sobre os patógenos, uma vez que favorece a sobrevivência e eficiência de microrganismos benéficos que, exercem antagonismo sobre os micróbios patogênicos (BARROS et al., 2014), e ainda induz a produção de determinados compostos orgânicos que são tóxicos aos patógenos (TERMORSHUIZE et al., 2006), aumentando dessa forma o potencial supressivo dos solos sobre patógenos de plantas (BARROS et al., 2013). Foi observado que a incorporação de adubação orgânica ao solo promoveu controle sobre espécies de *Scybalidium* ssp. no cultivo da mandioca (SILVA et al., 2013, BEZERRA et al., 2019).

Alguns atributos da adubação orgânica influenciam de forma diferenciada no poder supressivo do solo sobre os patógenos como a qualidade, dose e estado de decomposição das diferentes fontes de matéria orgânica (GARCIA et al., 2014). Diferentes fontes de adubação orgânica incorporados ao solo induziram a maior supressividade do solo devido promover maior eficiência dos agentes biocontroladores sobre os patógenos (ROS et al., 2005; KASUYA et al., 2006, SILVA et al., 2013).

Resíduos vegetais (GARCIA et al., 2014), como esterco de galinha (AGBEDE; OYEWUMO; 2022) torta de mamona (MINGJJING et al., 2025), esterco bovino e carvão vegetal (PARTEY et al., 2015), incorporação de adubos verdes (LI et al., 2015; YANG et al., 2019) como feijão caupi (*Vigna Unguiculata*) e amendoim (*Arachis hypogaea*) (MITRAN et al., 2018; HALLAMA et al., 2019) são fontes de matéria orgânica que vêm sendo introduzidas nos sistemas agrícolas de produção, refletindo a eficiência desses materiais na ciclagem de nutrientes e na estruturação do solo. Vale ressaltar que o uso desses materiais na agricultura contribuir para minimizar impactos ambientais negativos promovidos pelo descarte em locais inadequados (SILVA et al., 2021).

#### **2.4.2. Benefícios da adubação verde ao solo e as culturas**

O adubo verde exercer efeitos considerável na qualidade do solo, na substituição de fertilizantes sintéticos e na proteção ecológica (SPIETZ, 2009). Evidências recentes indicam que a incorporação prolongada de adubos

verdes, enquanto fonte exógena de matéria orgânica, exerce seus principais efeitos ecológicos ao aprimorar as propriedades físico-químicas do solo, como a estabilidade de agregados e o teor de matéria orgânica e ao fortalecer as funções biológicas mediadas por microrganismos (ABBOTT et al., 2018 ; BUNGAU et al., 2021). Em razão de suas características intrínsecas, os adubos verdes participam ativamente da regulação da dinâmica hídrica e nutricional dos sistemas solo-planta no período pós-incorporação, promovendo conservação de energia no agroecossistema, aumento da produtividade e da qualidade, e maior eficiência no uso de água e nutrientes (ZHANG et al., 2010).

Os adubos verdes leguminosos, enquanto insumos bio-orgânicos, potencializam a fixação biológica de nitrogênio (FBN) (KIM et al., 2012; BEN-LAOUANE et al., 2020) e desempenham papel essencial no enriquecimento da fertilidade e na manutenção da umidade edáfica.

A adoção sucessiva de adubos verdes, por sua vez, exerce efeitos benéficos de longo prazo na proteção do solo contra a erosão e na supressão de plantas daninhas e pragas em áreas agrícolas (MAITRA et al., 2018). Promovem ganhos potenciais de rendimentos das culturas, redução de doenças e insetos-praga e maior atividade microbiológica do solo em sistemas agrícolas (LI et al., 2015; YANG et al., 2019).

No contexto da dinâmica, os adubos verdes contribuem para a formação de húmus e regulam etapas-chave de transformação do N no processo de mineralização, amonificação, nitrificação e desnitrificação, além de sustentar a assimilação e o sequestro de N mineral por microrganismos funcionais (MANCINELLI et al., 2013; HOLZ et al., 2023). Sua incorporação modula a assimilação e a alocação de N pelas culturas de interesse econômico, ao integrar fluxos provenientes da fixação biológica e da mineralização dos resíduos vegetais (MARTENS; ENTZ, 2011; MOMESSO et al., 2022).

A aplicação de adubos verdes aprimora a composição e a funcionalidade das comunidades microbianas do solo (LYU et al., 2024), uma vez que, adubos verdes com baixa relação C/N, como as leguminosas, são rapidamente decompostos, facilitando a liberação de nutrientes, principalmente o nitrogênio (ZHILONG et al., 2024). Culturas como

leguminosas, feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e amendoim (*Arachis hypogaea*) apresentam baixa relação C/N e possui capacidade de utilizar fósforo (P) e potássio (K) em frações quase inacessíveis no solo (MITRAN et al., 2018; HALLAMA et al., 2019). Além disso, promovem um microambiente rizósferico antagonístico e aumenta a resistência da planta as doenças.

Em estudo realizado por Sousa et al. (2024), observaram-se o efeito positivo de plantas de cobertura com feijão-caupi, feijão-de-porco e amendoim na supressão da podridão radicular e do feijão-de-porco e amendoim no desempenho agrônômico das cultivares de mandioca 'BRS Kiriris' e 'BRS Formosa' em solos infestados com DRR (*Fusarium oxysporum*, *F. equiseti*, *F. verticillioides*, *F. solani*, *F. lateritium*, *F. chlamydosporum*) e BRR (*Lasiodiplodia theobromae*, *Neoscytalidium dimidiatum*).

### **2.4.3 Efeito do carvão vegetal sobre o solo e culturas agrícolas**

O carvão vegetal é um material altamente friável, produzido em larga escala pela conversão termoquímica de biomassa vegetal, o que gera volumes expressivos de frações finas ("finos"), frequentemente superiores a 25% da produção total (DALATORRE et al., 2020). O carvão vegetal apresenta alta porosidade (até 85% v/v), com distribuição de tamanho de poros que se estende de escalas subnanométricas a dezenas de micrômetros, em função da matéria-prima e da temperatura de pirólise (BREWER et al., 2014; GAO et al., 2017).

A correção/condicionamento do solo com resíduo pirogênico proveniente da decomposição térmica da biomassa (biochar) vem sendo crescentemente considerada uma alternativa viável para mitigar emissões de gases de efeito estufa, ampliar o sequestro de carbono no solo e, simultaneamente, melhorar a fertilidade de forma sustentável (LEHMANN, 2007). Por outro lado, o fino de carvão é pouco utilizado quanto à melhoria de atributos agrônômicos, sendo predominantemente utilizado como fonte de energia (DELATORRE et al., 2020). Por tanto, pesquisa sobre o uso de fino de carvão para o controle de nematoides, especialmente os de lesões radiculares, ainda é limitada.

O envelhecimento do carvão no solo decorre, sobretudo, de processos

de oxidação que se iniciam na superfície das partículas e progridem em direção ao núcleo (LEHMANN et al., 2005; HARDY et al., 2017). Essa oxidação introduz grupos funcionais fenólicos, carbonílicos e carboxílicos nas bordas dos domínios aromáticos condensados, elevando a capacidade de troca catiônica ao longo do tempo (CHENG et al., 2008). Como consequência, as razões elementares O/C e H/C do carvão tendem a aumentar com o envelhecimento (CHENG et al., 2008, PEREIRA et al., 2014), favorecendo o sistema solo-planta.

O biochar tem sido empregado para intensificar a supressão de doenças em plantas por um conjunto de mecanismos (GEORGE et al., 2016; FRENKEL et al., 2017; DOMENE et al., 2021), incluindo a indução de respostas de defesa da planta, alterações na abundância e/ou na composição da comunidade microbiana, modulação do teor e da disponibilidade de nutrientes, adsorção e inativação de toxinas liberadas por patógenos e efeitos horméticos de compostos derivados do biochar com atividade fito-hormonal (BONANOMI et al., 2015; FRENKEL et al., 2017). A eficácia supressiva, contudo, é dependente da dose e, em geral, manifesta-se em faixas de aplicação relativamente baixas (FRENKEL et al., 2017).

Em estudo realizado por Domone et al. (2021) a aplicação de biochar não alterou as propriedades do solo, a abundância total de nematoides, a riqueza ou a biomassa. Contudo, observaram-se mudanças na estrutura da comunidade nos tratamentos com 5 e 30 t ha<sup>-1</sup> em comparação aos controles, envolvendo componentes taxonômicos e funcionais, em que a dose baixa promoveu nematoides predadores e fitoparasitas, enquanto a dose alta favoreceu bacterívoros e fungívoros. Biochars reduziu as taxas de infecção de *Pratylenchus penetrans* e a perda de biomassa vegetal de plantas de cenoura (GEORGE et al., 2016), sendo uma opção de manejo de nematoides em culturas de interesse agrícola. Cinzas vegetais apresentou resultado promissor no manejo de nematoides de lesões *Pratylenchus brachyurus* radiculares em culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) (SANTOS et al., 2025).

Nesse contexto, estratégias de manejo que incrementem o teor de matéria orgânica ao solo têm sido adotadas em sistemas de cultivo agrícolas. Associado a isso, a aplicação de microrganismos benéficos como *Trichoderma* têm ganhado destaque dentro do manejo integrado.

## 2.5 Uso de *Trichoderma spp.* na agricultura: promoção de crescimento vegetal e controle biológico

Microrganismos estão constantemente envolvidos em atividade de parasitismo, antibiose e competição, atividades que estão relacionadas diretamente com o potencial natural de supressão dos solos (SILVA et al., 2013).

Como forma de potencializar a supressividade do solo no controle das doenças, alguns microrganismos estão sendo introduzido nos sistemas agrícolas, devido seu potencial de controlar o crescimento dos patógenos de plantas, sendo denominados de agentes de controle biológico (FERREIRA et al., 2019).

Ao longo das últimas décadas, pesquisas tem sido realizadas com intuito de analisar o potencial de diferentes espécies de agentes de controle biológico sobre doenças de culturas agrícolas (GÚEDEZ et al., 2009; ADNAN et al., 2019; BADER et al., 2020; FERREIRA et al., 2021), por ser considerado um método viável, não nocivo ao meio ambiente e sustentável. Os gêneros de isolados fúngicos mais utilizados no controle biológico são *Trichoderma ssp.* (VELASCO et al., 2016; CHEN et al.; 2020; FERREIRA et al.; 2021).

*Trichoderma ssp.* é um fungo de vida livre pertencente à família Hypocreaceae. Espécies desse gênero se alimentam principalmente de matéria orgânica em decomposição, o que explica sua ampla distribuição nos solos naturais e agrícolas (HESHAM et al, 2020). Além disso apresentam a capacidade de colonizar diferentes ambientes, desde sistemas agrícolas e florestais até ecossistemas aquáticos como, água doce e marinha (WOO et al., 2023).

A interação entre o *Trichoderma ssp.* - solo - planta é complexa, e envolve uma série de mecanismos diretos e indiretos. Na promoção de crescimento vegetal, esse fungo atua por meio de diferentes estratégias como, produção de fitormônios vegetais como giberelinas e auxinas que atuam sobre o crescimento radicular e parte aérea das plantas (ILLESCAS et al., 2021); maior solubilização e disponibilidade de nutrientes às plantas como

ferro, fósforo e micronutrientes (HUGAR; NAYAKAM, 2025; MEHETRE; MUKHERJEE, 2015); síntese de compostos bioativos, que auxiliam as plantas contra doenças (BADER et al., 2020), além de promover melhor adaptação as plantas contra condições adversas como estresse abióticos (ALFIKY et al., 2021; ILLESCAS et al., 2021).

Na interação entre espécies de *Trichoderma* e as raízes das plantas ocorre a acidificação do solo, processo mediado pela excreção de ácidos orgânicos como ácido glucônico, cítrico e fumárico (KUMAR 2019). Nesse processo de acidificação do solo ocorre a diminuição do pH, favorecendo a solubilização de nutrientes insolúveis, tornando-os mais acessíveis ao sistema radicular das plantas (FIORENTINO et al., 2018), o que reflete no maior vigor, incremento de biomassa aérea e desenvolvimento radicular vegetal.

Além de favorecer significativamente o crescimento vegetal, *Trichoderma* spp. tem se consolidado como um agente promissor de biocontrole, atuando de forma eficaz na supressão de patógenos de plantas por meio de diferentes mecanismos diretos como, micoparasitismo, competição, antagonismo (GUÉDEZ et al., 2009; ADNAN et al., 2019), ou indiretos por meio da indução de resistência sistêmica induzida (RSI) e resistência sistêmica adquirida (RSA) (SARAVANAKUMAR et al., 2016; YANG et al., 2023).

No processo direto de biocontrole sobre patógenos de plantas, o *Trichoderma* produz diferentes compostos que atuam inibindo ou controlando o crescimento de outros microorganismos, como enzimas quitinolíticas e glucanases (ESLAHI et al., 2022; GAJERA et al., 2016; WOO et al., 2023).

O processo de biocontrole indireto ocorre por meio das vias de sinalização. Na resistência adquirida a indução é impulsionada pela via do ácido salicílico e por meio da infecção por microrganismos virulentos ou não patogênicos, que atuam no processo de prevenção vegetal contra futuras infecções (ALI et al., 2018; REZENDE et al., 2021). Já a resistência induzida, é mediada pelas vias de sinalização do ácido jasmônico (AJ) e etileno (ET), e pela presença de microrganismos benéficos como *Trichoderma* ssp. (KIM et al., 2015; ALI et al., 2018), que transmitem a sinalização de defesa a partir de tecidos vegetais infectados, propagando-se sistemicamente por toda a planta

e ativando a expressão generalizada de genes relacionados à defesa (THAKKER et al., 2013).

*Trichoderma harzianum* controlou o crescimento de fungos patogênicos causadores da podridão mole e negra do morango, por meio do mecanismo de micoparasitismo (GUÉDEZ et al., 2009). A severidade da podridão negra da mandioca foi controlada por meio do agente de biocontrole *T. harzianum*, que inibiu a atividade do fungo patogênico *Scytalidium lignicola* (SILVA et al., 2017).

*Trichoderma* ssp. reduziu a severidade da podridão do caule do alface por meio dos mecanismos de competição, redução da produção de esporos pela produção de compostos antifúngicos, e produção de compostos e enzimas que degradaram a parede celular do fungo patogênico *Sclerotium* sp. LSO1 (WONGLAM et al., 2019).

### 3. REFERENCIAS

ABBOTT, L. K.; MACDONALD, L. M.; WONG, M. T. F.; WEBB, M. J.; JENKINS, S. N.; FARRELL, M. Potential roles of biological amendments for profitable grain production—A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 256, p. 34-50, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.021>

ALFIKY, ALSAYED; WEISSKOPF, LAURE. Deciphering Trichoderma-plant-pathogen interactions for better development of biocontrol applications. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 1, p. 61, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7010061>

ALI, S.; GANAI, B.A.; KAMILI, A.N.; BHAT, A.A.; MIR, Z.A.; BHAT, J.A.; RAWAT, S. Pathogenesis-related proteins and peptides as promising tools for engineering plants with multiple stress tolerance. **Microbiological Research**, v. 212, p. 29-37, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.04.008>

AKKER, S. E.; LILLEY, C.; DANCHIN, E.G.; RANCTREL, C.; COCK, P. J. A .C.; URWIN, P.E.; JONES, J. T. The Transcriptome of *Nacobbus aberrans* Reveals Insights into the Evolution of Sedentary Endoparasitism in Plant-Parasitic Nematodes. **Genome Biol. Evol.** v. 6, n. 9, p. 2181-2194, 2014. <https://doi.org/10.1093/gbe/evu171>

BONANOMI, G.; IPPOLITO, F.; SCALA. 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, 2015. <https://doi.org/10.4454/jpp.v97i2.3381>

BEN-LAOUANE, R.; BASLAM, M.; AIT-EL-MOKHTAR, M.; ANLI, M.; BOUTASKNIT, A.; AIT-RAHOU, Y.; TOUBALI, S.; MITSUI, T.; OUFDOU, K.; WHABI, S.; MEDDICH, A. Potential of native arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia, and/or green compost as alfalfa (*Medicago sativa*) enhancers under salinity. **Microorganisms**, v. 8, p. 1695, 2020. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111695>

BUNGAU, S.; BEHL, T.; ALEYA, L.; BOURGEADE, P.; ALOUI-SOSSÉ, B.; PURZA, A. L.; ABID, A.; SAMUEL, A. D. Expatriating the impact of anthropogenic aspects and climatic factors on long-term soil monitoring and management. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 30528–30550, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14127-7>

BREWER, C. E.; CHUANG, V. J.; MASIELLO, C. A.; GONNERMANN, H.; GAO, X.; DUGAN, B.; DRIVER, L. E.; PANZACCHI, P.; ZYGOURAKIS, K.; DAVIES, C. A. New Approaches to Measuring Biochar Density and Porosity. **Biomass Bioenergy**, v. 66, p. 176–185, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.059>

CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; ENGELHARD, M. H. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. **Geochimica et cosmochimica acta**, v. 72, n. 6, p. 1598-1610, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.01.010>

CLABERO-CAMACHO, I.; Archidona-Yuste, A.; Cantalapiedra-Navarrete, C.; Castillo, P.; Palomares-Rius, J. E. Prevalence and ecological factors affecting the distribution of plant-parasitic nematodes in Prunus groves in Spain. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 23, n. 2, p. 566-589, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.02.033>.

DELATORRE, F. M.; CUPERTINO, G. F. M.; JÚNIOR, A. J. D. S.; DA SILVA, Á. M.; JÚNIOR, A. F. D.; SILVEIRA, M. P. R. Insights Acerca Do Uso de Finos de Carvão Vegetal Para Geração de Bioenergia. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 16, p. 138, 2020. <https://doi.org/10.30969/acsa.v16i3.1272>

DOMONE, X.; MATTANA, S.; SÁNCHEZ-MORENO, S. Biochar addition rate determines contrasting shifts in soil nematode trophic groups in outdoor mesocosms: An appraisal of underlying mechanisms. **Applied Soil Ecology**, v. 158, p. 103788, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103788>

ESLAHI, N.; KOWSARI, M.; ZAMANI, M.R.; MOTALLEBI, M. Correlation study between Biochemical and Molecular Pathways of *Trichoderma harzianum* Recombinant Strains on Plant Growth and Health. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.41, p.1561-1577, 2022.

ERKUT, C. · KURZCHALIA, TV. The *C. elegans* dauer larva as a paradigm to study metabolic suppression and desiccation tolerance. **Planta**. v. 242, p. 389-396, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2300-x>

FIorentino, N.; VENTORINO, V.; WOO, S.; PEPE, O.; ROSA, A. DE.; GIOIA, L.; ROMANO, I.; LOMBARDI, N.; NAPOLITANO, M.; COLLA, G.ROUPHAEI, 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00743>

FRENKEL, O.; JAISWAL, A. K.; ELAD, Y.; LEW, B.; KAMMANN, c.; GRABER, E. R. The effect of biochar on plant diseases: what should we learn while designing biochar substrates? **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 25, n. 2, p. 105-113, 2017. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1307202>

GAJERA , H.P.; HIRPARA, D.G.; KATAKPARA, Z.A.; PATEL, S.V.; GOLAKIYA, B.A. Molecular evolution and phylogenetic analysis of biocontrol genes acquired from SCoT polymorphism of mycoparasitic *Trichoderma koningii* inhibiting phytopathogen *Rhizoctonia solani* Kuhn. **Infection, Genetics and Evolution**, v.45, p.383-392, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2016.09.026>

GAO, X.; DRIVER, L. E.; KASIN, I.; MASIELLO, C. A.; PYLE, L. A.; DUGAN, B.; OHLSON, M. Effect of Environmental Exposure on Charcoal Density and Porosity in a Boreal Forest. **Science of The Total Environment**, v. 592, 316-325, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.073>

GEOEGE, C.; KOHLER, J.; RILLIG, M. Biochars reduce infection rates of the root-lesion nematode *Pratylenchus penetrans* and associated biomass loss in carrot. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 95, p. 11-18, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.12.003>

HALLAMA, M.; PEKRUN, C.; LAMBERS, H.; KANDELER, E. Hidden miners—the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. **Plant and Soil**, v. 434, p. 7–45, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3810-7>

HARDY, B.; LEIFELD, J.; KNICKER, H.; DUFEY, J. E.; DEFORCE, K.; CORNÉLIS, J. Long term change in chemical properties of preindustrial charcoal particles aged in forest and agricultural temperate soil. **Organic Geochemistry**, v. 107, p. 33-45, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.02.008>

HOLZ, M., PATERSON, E., PAUSCH, J. Rhizosphere carbon priming: a plant mechanism to enhance soil nitrogen accessibility? **Plant Soil**, v. 488, p. 175–185, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05979-8>

KIM, S. Y.; GUTIERREZ, J.; KIM, P. J. Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation in paddy soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 161, 130–136, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.07.026>

KUMAR, A.; PATEL, A.; SINGH, S. N.; TIWARI, R. K. Effect of *Trichoderma* spp. in plant growth promotion in chilli. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, p. 1574-1581, 2019. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.182>

KIM, JI-SEONG.; LEE, J.; LEE, CHAN-HUI.; WOO, S.Y.; KANG, H.; SANG-GYU SEO, SANG-GYU.; KIM, SUN-HYUNG. Activation of Pathogenesis-related Genes by the *Rhizobacterium*, *Bacillus* sp. JS, Which Induces Systemic Resistance in Tobacco Plants. **Plant Pathology Journal**, v. 31, n. 2, p.195-201, 2015.<https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.11.2014.0122>

LEHMANN, J. A handful of carbon. **Nature**, v. 447, n. 7141, p. 143-144, 2007. <https://doi.org/10.1038/447143a>

LEHMANN, J.; LIANG, B.; SOLOMON, D.; LEROTIC, M.; LUIZÃO, F.; KINYANGI, J.; SCHÄFER, T.; JACOBSEN, C. Near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil: Application to black carbon particles. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, n. 1, 2005. <https://doi.org/10.1029/2004GB002435>

LI, F.; WANG, Z.; DAI, J. Fate of nitrogen from green manure, straw, and fertilizer applied to wheat under different summer fallow management strategies in dryland. **Biol Fertil Soils**, v. 51, p. 769–780, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1023-2>

LI, Y. ; STIRLING, G. R.; SEYMOUR, N. P .The effect of organic amendment input and crop management practices on the nematode community and suppression of root-lesion nematode (*Pratylenchus thornei*) in a grain-growing soil. **Australasian Plant Pathol**, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13313-017-0508-x>

LYU, H.; LI, Y.; WANG, Y.; WANG, P.; SHANG, Y.; YANG, X.; WANG, F.; YU, A. Drive soil nitrogen transformation and improve crop nitrogen absorption and utilization-a review of green manure applications. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1305600, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1305600>

MAITRA, S.; ZAMAN, A.; MANDAL, T. K.; PALAI, J. B. Green manures in agriculture: A review. **J. Pharmacognosy Phytochem**, v. 7, p. 1319–1327, 2018.

MANCINELLI, R.; MARINARI, S.; FELICE, V. D.; SAVIN, M. C.; CAMPIGLIA, E. Soil property, CO<sub>2</sub> emission and aridity index as agroecological indicators to assess the mineralization of cover crop green manure in a Mediterranean environment. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 31-40, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.04.011> MARTENS, J. R. T.; ENTZ, M. H. Integrating green manure and grazing systems: A review. **Can. J. Plant Science**, v. 91, p. 811-824.<https://doi.org/10.4141/cjps10177>

MITRAN, T.; MEENA, R. S.; LAL, R.; LAYEK, J.; KUMAR, S.; DATTA, R. Role of soil phosphorus on legume production. In: Meena, R., Das, A., Yadav, G., Lal, R. (eds) **Legumes for Soil Health and Sustainable Management**. pp. 487–510 Springer, Singapore, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_15)

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; CANTARELLA, H.; TANAKA, K. S.; KOWALCHUK, G. A.; KURAMAE, E. E. Optimizing cover crop and fertilizer timing for high maize yield and nitrogen cycle control. **Geoderma**, v. 405, p. 115423, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115423>

NICOL J. M., Current nematode threats to world agriculture.. **Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions**. Springer. p. 21, 2011.

PEREIRA, R. C.; ARBESTAIN, M. C.; KAAL, J.; SUEIRO, M. V.; SEVILLA, M.; HINDMARSH, J. Detailed carbon chemistry in charcoals from pre-European Māori gardens of New Zealand as a tool for understanding biochar stability in soils. **European Journal of Soil Science**, v. 65, n. 1, p. 83-95, 2014. <https://doi.org/10.1111/ejss.12096>

PERRY, R. N · WHARTON, D. A. Survival of parasitic nematodes outside the host. Molecular and physiological basis of nematode survival. **CAB Internacional**, p. 1-27, 2011. <https://doi.org/10.1079/9781845936877.00>.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L. M.; FARIA, D. R.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p.e50810212725, 2021.

RIBEIRO, L. M.; CAMPOS, H. D.; NEVES, D.L.; DIAS-ARIEIRA D.R. Survival of *Pratylenchus brachyurus* under dry soil conditions. **HELIYON**, v. 6, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05075>

SANTOS, T. F. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, S. A.; FERREIRA, P. A.; MENEGHETTI, L. A. M.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, C. Z. Plant ash associated with liming can help the management of *Pratylenchus brachyurus* in *Phaseolus vulgaris*. **Tropical Plant Pathology**, v. 50, n. 60, 2025. <https://doi.org/10.1007/s40858-025-00750-z>

SARAVANAKUMAR, K.; PARK, S.; VIJAYASARATHY, S.; SWAMINATHAN, A.; SIVASANTOSH, S.; KIM, Y.; YOO, G.; MADHUMITHA, H.; MUBARAKALI, D.; CHO, N. Cellular metabolism and health impacts of dichlorvos: occurrence, detection, prevention, and remedial strategies – a review. **Environmental Research**, v. 242, p. 117600, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117600>

SINGH, S.; SINGH, B.; SINGH, A. P. Nematodes: A Threat to Sustainability of Agriculture. **Procedia Environmental Sciences**, v. 29 p. 215 – 216, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.270>

STIRLING, G. R. **Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture**, Wallingford. CAB International, 2014 (2<sup>o</sup>ed.)

SOUSA, M. C. P.; DIAMANTINO, M. S. A. S.; HOHENFELD, C. S. VIDAL, C. B. M.; OLIVEIRA, S. A. S. Effect of cover crops on the suppressiveness of root rot and on the agronomic performance of cassava. **European Journal of Plant Pathology**, v. 170, p. 649–667, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02925-x>

SPIERTZ, J. H. J. Nitrogen, sustainable agriculture and food security: a review. *Agron. Sustain.* **Agronomy for Sustainable Development**, n. 1, p. 635–651, 2009. <https://doi.org/10.1051/agro:2008064>

YANG, L.; ZHOU, X.; LIAO, Y.; LU, Y.; NIE, J.; CAO, W. Co-incorporation of rice straw and green manure benefits rice yield and nutrient uptake. **Crop Science**, v. 59, p. 749–759, 2019. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.07.0427>

ZHILONG, D.; CHENGUANG, W.; XIN, M.; HUI, W. Decomposition and nutrient release characteristics of different *Vicia villosa* green manure applications in uplands of northern Shaanxi. **Soil and Fertilizer Sciences in China**, v. 63, n. 02, p. 88-93, 2024.

ZHANG, F.; SHEN, J.; ZHANG, J.; ZUO, Y.; LI, L.; CHEN, X. (2010). Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: implications for China. **Advancrs in Agronomy**, v. 107, p. 1–32, 2010. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)07001-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)07001-X)

WOO, S. L.; HERMOSA, R.; LORITO, M.; MONTE, E. Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. **Nature Reviews Microbiology**, v. 21, n. 5, p. 312-326, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>

## Capítulo 1

**Efeito do *Trichoderma asperellum* no crescimento inicial de mudas de BRS Formosa e BRS Kiriris cultivadas em solo tratado**

### **Efeito do *Trichoderma asperellum* no crescimento inicial de mudas de BRS Formosa e BRS Kiriris cultivadas em solo tratado**

**RESUMO:** A obtenção de mudas saudáveis é um dos pré-requisitos para sistemas de cultivo mais eficientes e sustentáveis. Nesse processo, destaca-se a importância de otimizar o uso de *Trichoderma* spp., pois diferentes genótipos apresentam respostas distintas à inoculação com esses agentes biológicos. Assim, a escolha correta das combinações entre genótipo e *Trichoderma* torna-se fundamental para melhorar o desempenho inicial das mudas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento de mudas de mandioca dos genótipos BRS Kiriris e BRS Formosa, cultivadas em solo natural e esterilizado, sob inoculação com *Trichoderma asperellum*. Adotou-se delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 2x2x2, sendo: dois níveis de solo (esterilizado; não-esterilizado); aplicação de *Trichoderma asperellum* (com;sem); e dois genótipos de mandioca (BRS Kiriris; BRS Formosa). Avaliou-se as seguintes variáveis: altura, massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca de raiz (MSR), colonização externa (COLEXT) e interna (COLINT) das manivas. A aplicação do *Trichoderma* promoveu maior altura, biomassa aérea e desenvolvimento radicular das mudas em solo não-esterilizado. Em solo esterilizado, houve ganhos em altura, MSPA, MSR, o que demonstra resposta eficiente do fungo em ambiente de baixa disponibilidade de nutrientes e densidade microbiana. Contudo o resultado mostrou efeito genótipo-dependente. A aplicação do Mix de *T. asperellum* é recomendada para o cultivo dos genótipos BRS Formosa e BRS Kiriris, promovendo maior crescimento das mudas, sendo uma estratégia primordial para potencializar o desempenho de ambos os genótipos.

**Palavras-chave:** Mandioca, Microrganismos benéficos, Produção agrícola

### **Effect of *Trichoderma asperellum* on the early growth of BRS Formosa and BRS Kiriris seedlings cultivated in treated soil**

**ABSTRACT:** Obtaining healthy seedlings is one of the prerequisites for more efficient and sustainable cropping systems. In this context, optimizing the use of *Trichoderma* spp. is essential, as different genotypes may respond distinctively to inoculation with these biological agents. Thus, selecting the appropriate combinations between genotype and *Trichoderma* is fundamental to improving the initial development of seedlings. This study aimed to evaluate the growth of cassava seedlings of the genotypes BRS Kiriris and BRS Formosa cultivated in natural and sterilized soil under inoculation with *Trichoderma asperellum*. A randomized block design (RBD) was adopted in a 2×2×2 factorial scheme, consisting of two soil conditions (sterilized; non-sterilized); application of *Trichoderma asperellum* (with; without); and two cassava genotypes (BRS Kiriris; BRS Formosa). The following variables were evaluated: plant height, fresh shoot mass (FSM), dry shoot mass (DSM), fresh root mass (FRM), dry root mass (DRM), and external (EXTCOL) and internal (INTCOL) colonization of the stem cuttings. The application of *Trichoderma* promoted greater height, shoot biomass, and root development of seedlings grown in non-sterilized soil. In sterilized soil, increases in height, DSM, and DRM were observed, demonstrating the fungus' efficient response in an environment with low nutrient availability and microbial density. However, the results showed genotype-dependent effects. The application of a *T. asperellum* mix is recommended for cultivating the genotypes BRS Formosa and BRS Kiriris, as it enhances seedling growth and represents a key strategy to improve the performance of both genotypes.

**Keywords:** Cassava, Beneficial microorganisms, Agricultural production

## 1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura importante para a segurança alimentar, com potencial econômico e social em diversas regiões tropicais de países em desenvolvimento, com capacidade de adaptação a solos pobres e condições climáticas adversas (SHIGAKI, 2015; SILVA et al., 2017; BORKU, 2025).

A produtividade e a saúde fisiológica da mandioca são profundamente influenciadas pelas interações entre a planta, microrganismos benéficos e patógenos do solo. Em ambientes tropicais, onde a incidência de doenças de solo é alta, essas interações tornam-se ainda mais relevantes para o crescimento e a qualidade do material vegetativo (GAO, et al., 2023; SAFRIANI et al., 2020).

Diversas estratégias têm sido adotadas nos sistemas de produção da mandiocultura para o controle fitossanitário, com destaque para o uso do controle biológico por meio da aplicação de agentes microbianos, especialmente espécies do gênero *Trichoderma* spp. Contudo, a eficácia do fungo *Trichoderma* é altamente dependente da interação com fatores ambientais e biológicos (LUSTOSA et al., 2020; SANTOS et al., 2020).

Dentre os fatores que influenciam o potencial de promoção de crescimento vegetal e a atividade antagônica do *Trichoderma*, destaca-se a composição da comunidade microbiana do solo, que atua como um elemento determinante para o seu desempenho. Ambientes com elevada diversidade microbiana podem gerar intensa competição por nutrientes e espaço, reduzindo, conseqüentemente, a eficácia do *Trichoderma* (TAO et al., 2023; SHAHRIAR et al., 2022). Por outro lado, interações sinérgicas com microrganismos benéficos podem potencializar seu modo de ação, ampliando seus efeitos positivos sobre a planta (SHAO et al., 2025). Adicionalmente, a disponibilidade de nutrientes, quando limitada ou excessiva, pode modular a atividade e a competitividade do *Trichoderma*, interferindo diretamente em seu desempenho (MANZAR et al., 2020; SOOD et al., 2020; TY et al., 2022).

Associado à adoção do controle biológico, o uso de mudas sadias constitui-se como um pré-requisito para sistemas de cultivo mais eficientes e sustentáveis, devido plantas livres de patógenos apresentarem maiores taxas

de enraizamento (CLAPA et al., 2021; KUMAR et al., 2024) e menor perda em produtividade (CETINKAYA et al., 2022; FUCHS et al., 2020; KUMAR et al., 2024), refletindo em melhor desempenho vegetativo.

Para a obtenção de mudas saudáveis se faz necessária avaliação prévia em condições controladas visando selecionar genótipos e estratégias de manejo mais eficientes (JALA et al., 2019), além de otimizar o uso de *Trichoderma* spp, haja vista que genótipos respondem de forma distinta à inoculação com *Trichoderma* spp. (GUERREIRO et al., 2025; CAMPOS et al., 2020; LUSTOSA et al., 2020).

Diante do contexto, a avaliação entre genótipos cultivados em solos naturais e esterilizados é, portanto, essencial para compreender o real potencial do *Trichoderma* na mandiocultura. Assim, hipotetiza-se que em solo esterilizado, com a microbiota nativa reduzida, pode-se observar o efeito direto do fungo sobre as mudas. Enquanto que, em solo natural, a presença de diversos microrganismos e as interações complexas da comunidade edáfica impõem condições mais realistas e desafiadoras, permitindo avaliar sua capacidade de colonização, persistência e atividade de biocontrole em um ambiente competitivo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento de mudas de mandioca dos genótipos BRS Kiriris e BRS Formosa, cultivadas em solo natural e esterilizado, sob inoculação com *Trichoderma asperellum*.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Teste de compatibilidade entre os isolados biocontroladores**

Teste de compatibilidade entre os isolados de biocontrole [*Trichoderma asperellum* (CMF - 1007) x *Trichoderma asperellum* (CMF - 1006)], foi realizado antes da instalação do experimento em casa de vegetação. Os isolados foram repicados para uma mesma placa de Petri em lados opostos na mesma direção, e com distância de 3 cm da borda da placa, com dez repetições. As placas foram incubadas em câmara de crescimento BOD em fotoperíodo de 12 horas a 25 °C, por sete dias. Após esse período, se realizou avaliação de crescimento, com o auxílio de uma régua graduada, medindo o diâmetro do crescimento micelial das colônias em sentido

perpendicular. A quantificação foi realizada em porcentagem de crescimento, dos fungos isolados e crescidos na mesma placa.

## **2.2 Plantio dos genótipos de BRS Formosa e BRS Kiriris com inoculação de *Trichoderma asperellum* em solo esterilizado e não esterilizado.**

O ensaio experimental foi conduzido em casa de vegetação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas, BA, nas coordenadas geográficas 12° 40' 19" S e 39° 06' 23" W. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 2 × 2 × 2, com nove repetições, totalizando 72 unidades experimentais. O primeiro fator correspondeu ao tipo de solo (esterilizado e natural); o segundo, ao biocontrole (ausência e presença); e o terceiro, aos genótipos de mandioca (BRS Kiriris e BRS Formosa).

Como substrato, utilizou-se um Latossolo Amarelo distrófico (LAd), coletado a 0,20 m de profundidade na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas – BA. As principais características químicas do solo foram: pH (H<sub>2</sub>O) = 5,6; P = 3 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,07 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 1,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,72 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 1,58 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Na = 0,03 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB = 1,97 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC = 3,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 56%; e MO = 8,0 g kg<sup>-1</sup>.

O solo destinado ao experimento foi previamente esterilizado em autoclave a 120 °C por 40 minutos. Após a esterilização, o material foi acondicionado em sacos plásticos e armazenado por três dias. Antes do plantio, permaneceu nos vasos por um período de 10 dias, permitindo a estabilização das condições do substrato.

Foram utilizadas manivas-semente dos genótipos BRS Kiriris e BRS Formosa, obtidas no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura. As hastes foram provenientes de plantas sadias, padronizadas em 8,0 cm de comprimento. Antes do plantio, as manivas passaram por desinfestação utilizando solução de Cloreto de Benzalcônio (0,5 mL L<sup>-1</sup>) por três minutos, sendo posteriormente lavadas em água corrente e mantidas para secagem por duas horas à temperatura ambiente.

A inoculação com agentes de biocontrole, *Trichoderma asperellum*

(CMF-1007) e *Trichoderma asperellum* (CMF-1006), foi realizada sete dias antes do plantio, com aplicação de 50 g de cada inóculo em vasos de polietileno com capacidade de 3,3 L. As densidades finais foram de  $3,95 \times 10^7$  UFC g<sup>-1</sup> para CMF-1007 e  $1,5 \times 10^7$  UFC g<sup>-1</sup> para CMF-1006. O preparo do inóculo é detalhado na seção 2.3 deste trabalho.

A casa de vegetação apresentou temperatura máxima de  $32 \pm 2$  °C, com acionamento de ventilação forçada sempre que esse limite era atingido. A irrigação foi automatizada, ocorrendo quatro vezes ao dia, por cinco minutos em cada ciclo.

Aos 60 dias após o plantio, avaliaram-se os parâmetros de crescimento e colonização das manivas. A altura foi medida da base ao ápice com régua graduada. A biomassa foi determinada por meio da massa fresca e seca da parte aérea (MFPA, MSPA) e das raízes (MFR, MSR), com o auxílio de balança analítica. A colonização fúngica das manivas foi quantificada em escala de classificação segundo Santiago et al., (2018), considerando a colonização externa (Colext: 0 = ausente, 1 = presente) e a interna (Colint: 1 = < 1/3, 2 = 1/3–2/3, 3 = > 2/3 da área da maniva).

### **2.3 Preparação dos inóculos de biocontrole**

Como agentes de biocontrole, empregou-se o *Trichoderma asperellum* [CNMF 1007] e *Trichoderma asperellum* [CNMF 1006], provenientes da micoteca do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Os isolados foram repicados separadamente em placas de Petri contendo meio Batata-Dextrose-Ágar (BDA) e mantidos em câmara de crescimento B.O.D., sob fotoperíodo de 12 horas, por 7 dias. Após esse período, realizou-se a suspensão de esporos de cada isolado, adicionando-se 10 mL de água estéril e autoclavada em cada placa com colônias fúngicas, e liberando-se os conídios com auxílio de escova de dentes. As suspensões obtidas foram filtradas em peneira de 45 µm em Becker, utilizando apenas material previamente autoclavado.

Em seguida, 10 mL de cada suspensão foram transferidos, com auxílio de seringa, para sacos plásticos contendo 500 g de arroz previamente hidratado em água corrente por 15 minutos, acondicionado em sacos

plásticos e autoclavado a 120 °C por 25 minutos, seguido de resfriamento à temperatura ambiente. A preparação de cada inóculo fúngico seguiu o método descrito por Steffen e Maldaner (2019), por meio de fermentação sólida em arroz parbolizado, em câmara B.O.D. sob fotoperíodo de 12 horas a 28 °C ( $\pm 1$  °C).

Após o período de incubação, preparou-se uma suspensão fúngica contendo 10 g do arroz parbolizado de cada isolado em 90 mL de água destilada, seguida de diluição seriada. Para a contagem de conídios aéreos, utilizou-se a câmara de Neubauer em microscópio óptico com aumento de 40 $\times$ . Uma alíquota de 100  $\mu$ L foi semeada em placas com meio BDA, mantidas em B.O.D. a 25 °C por 48 horas. A quantificação de conídios viáveis foi realizada por contagem de Unidades Formadoras de Colônia (UFC), ajustando-se a concentração de cada inóculo para 10<sup>6</sup> UFC g<sup>-1</sup> de substrato.

## **2.4 Análise estatística**

Os dados obtidos foram avaliados quanto à normalidade, submetidos ao teste F da análise de variância e agrupados com base no teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade empregando-se o programa estatístico R (R Development Core Team, 2024). A atividade de confrontação direta fungo-fungo foi analisada utilizando as médias, e agrupadas pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade, e os valores expressos em média  $\pm$  erro. Os valores observados para colonização das mudas foram transformados utilizando a escala de Macquine.

## **3.0 RESULTADOS**

### **3.1 Teste de compatibilidade entre os isolados biocontroladores**

Os resultados demonstraram que os isolados do fungo *Trichoderma asperellum* (CMF 1006 e CMF 1007) foram compatíveis quando crescidos na mesma placa de Petri em condições controladas, após sete dias de

incubação em BOD. A compatibilidade é essencial para o controle dos patógenos, uma vez que é necessária a interação sinérgica entre ambos os biocontroladores, de forma a proporcionar mais estabilidade e ampliação do espectro de ação sobre diferentes espécies de fitopatógenos.

### **3.2 Efeito da aplicação com *Trichoderma asperellum* em mudas da mandioca (BRS Kiriris e BRS Formosa) cultivada em solo esterilizado e natural**

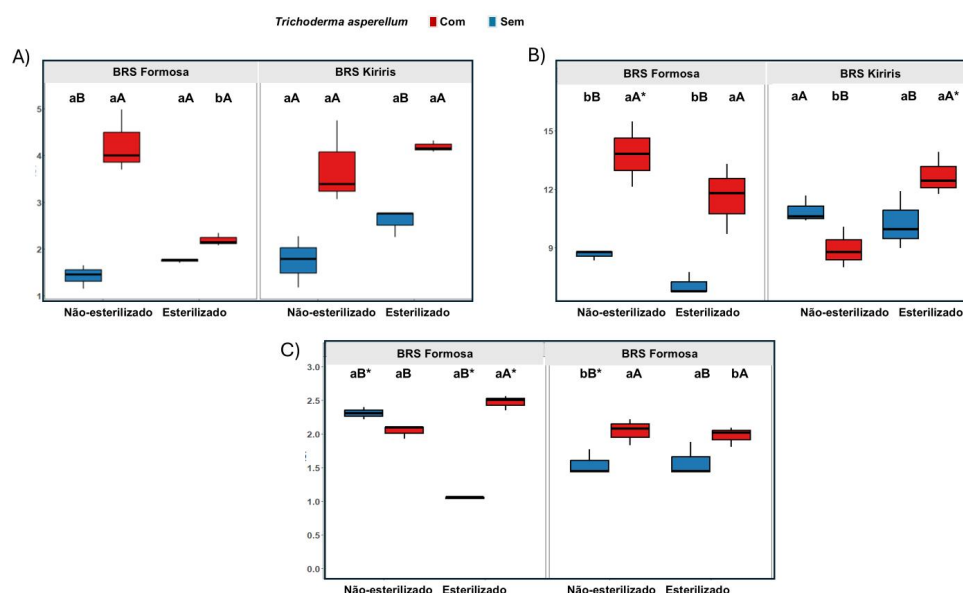
Houve interação ( $p < 0,001$ ) entre aplicação do Mix de *Trichoderma*, tratamento do solo, e genótipos de mandioca, para as variáveis MSPA, MFR e MSR. Efeitos duplos ( $p < 0,001$ ) entre aplicação do Mix de *Trichoderma* e tratamento do solo para altura e MFPA, como também dos fatores genótipos e aplicação do Mix de *Trichoderma* para Colint e MFPA. O efeito individual ( $p < 0,05$ ) do tratamento do solo foi significativo para Colint; a aplicação do Mix de *Trichoderma* teve impacto sobre Colext; e os genótipos influenciaram significativamente a altura.

As maiores médias de MFR foram observadas nos tratamentos que receberam aplicação do Mix de *Trichoderma*, exceto no solo não esterilizado para a cultivar BRS Kiriris, na qual a aplicação do Mix de *Trichoderma* reduziu os valores de MFR. Em solo esterilizado, a aplicação do Mix de *Trichoderma* promoveu incrementos de 39,7% e 19,7% na MFR das cultivares BRS Formosa e BRS Kiriris, respectivamente, quando comparado à ausência da aplicação. Já em solo não esterilizado, o Mix de *Trichoderma* resultou em incremento de 37,7% na MFR da cultivar BRS Formosa (FIGURA 1) em relação as mudas que não receberam a aplicação.

Para a MSR, maiores médias foram promovidas pelos tratamentos (Formosa + *Trichoderma* + solo esterilizado) ( $2,47 \text{ g planta}^{-1}$ ) e (Formosa - *Trichoderma* + solo não esterilizado) ( $2,31 \text{ g planta}^{-1}$ ), diferentes das demais. Esses valores representam incrementos de 57,5% e 54,54%, respectivamente, quando comparados à menor média apresentada pelo tratamento com BRS Formosa cultivado em solo esterilizado sem aplicação do Mix de *Trichoderma*. Em solo estéril, o Mix de *Trichoderma* promoveu

maior incremento das mudas, uma vez que não encontrou competição com outros microrganismos. Por sua vez, os microrganismos nativos do solo foram eficientes em promover MSR em mudas de BRS Formosa. A BRS kiriris apresentou médias intermediárias variando entre (1,55 g - 2,04 g planta<sup>-1</sup>), sendo que as maiores médias foram observadas na presença do Mix de *Trichoderma* (Figura 1).

**Figura 1.** Médias e gráficos de boxplot em função da aplicação do Mix de *Trichoderma asperellum*, tratamento do solo e genótipos, para as variáveis: A) massa seca de parte aérea (MSPA g planta<sup>-1</sup>), e B) massa fresca de raiz (MFR g planta<sup>-1</sup>), e C) massa seca de raiz (MSR g planta<sup>-1</sup>), em mudas de mandioca.



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada nível de solo e nível de biocontrole; letras maiúsculas comparam os níveis de biocontrole dentro de cada nível de solo em cada genótipo; e o símbolo (\*) indica diferença entre os genótipos em cada nível de solo e nível de biocontrole.

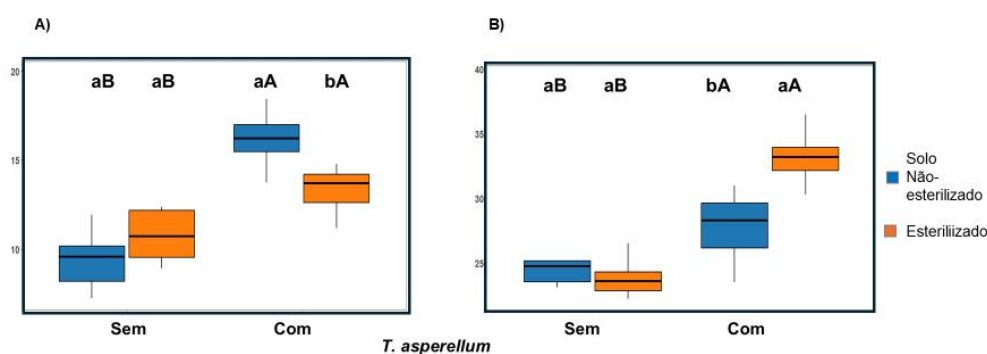
Para a MSPA, os genótipos apresentaram maiores médias com a aplicação do Mix de *Trichoderma*, independentemente do tratamento do solo, exceto para o genótipo BRS Formosa em solo esterilizado, cujas médias foram semelhantes entre os tratamentos com e sem aplicação do biocontrole. Em solo não esterilizado, a aplicação do Mix de *Trichoderma* promoveu incrementos de 66,35% e 53,35% na MSPA dos genótipos BRS Formosa e BRS Kiriris, respectivamente, enquanto em solo esterilizado observou-se incremento de 38% para BRS Kiriris em relação à ausência do biocontrole

(Figura 1).

A interação entre *Trichoderma* vs tratamento do solo foi significativa ( $p < 0,001$ ) para MFPA e altura de plantas. Em solo não esterilizado, as plantas com aplicação do Mix de *Trichoderma* apresentaram maior média de MFPA (16,19 g planta<sup>-1</sup>), enquanto a menor média foi apresentada pelo tratamento solo não-esterilizado sem *Trichoderma* (9,41 g planta<sup>-1</sup>), ambas com as médias diferentes das demais. Em solo esterilizado a maior média foi promovida pela presença do biocontrole (13,33 g planta<sup>-1</sup>), em relação a sua ausência (10,76 g planta<sup>-1</sup>) (Figura 2: A).

Para a altura de plantas, em solo esterilizado com *Trichoderma* observou-se média superior e diferente dos demais, com acréscimo de 16,38% em relação ao não-esterilizado + *Trichoderma* e 28,22% em relação a sua versão sem o biocontrole (Figura 2: B). Esses resultados corroboram com os verificados por Colla et al. (2015), com maior crescimento vertical em plantas de tomate após a inoculação com *T. atroviride* MUCL45632.

**Figura 2.** Médias e gráficos de Boxplot em função da aplicação do Mix de *Trichoderma asperellum* e tratamento do solo, para as variáveis: A) massa fresca parte aérea (MFPA g planta<sup>-1</sup>), e B) altura de plantas (cm planta<sup>-1</sup>), em mudas de mandioca.

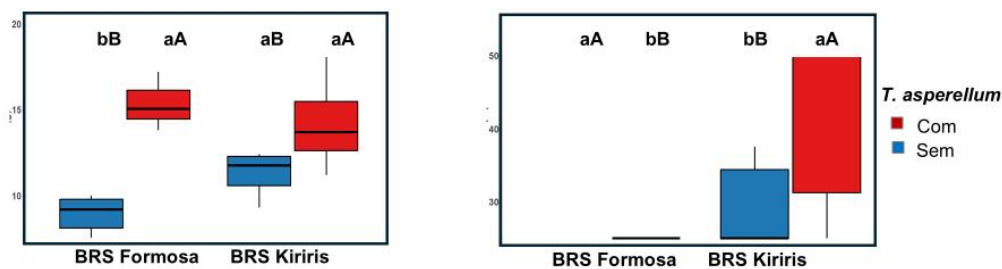


\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam os tipos de solo, enquanto letras maiúsculas comparam os níveis de biocontrole.

Na avaliação da interação entre genótipos vs *Trichoderma*, observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) MFPA, e ( $p < 0,001$ ) colonização interna (Colint). Ambos os genótipos apresentaram as maiores médias de MFPA quando receberam aplicação com o Mix de *Trichoderma*, com incremento de 42,09% para BRS Formosa e de 20,60% para BRS Kiriris, em relação aos respectivos

tratamentos sem aplicação do Mix de *Trichoderma* (Figura 3: A).

**Figura 3.** Médias e gráficos de boxplot em resposta ao efeito da aplicação do Mix de *Trichoderma asperellum* vs genótipos, para as variáveis: A) massa fresca parte aérea (MFPA g planta<sup>-1</sup>), e B) colonização interna (Colint), em mudas de mandioca.



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam os genótipos, enquanto letras maiúsculas comparam os níveis de biocontrole

A resposta do Colint também variou conforme as cultivares, em que as mudas de BRS Kiriris apresentaram média superior às mudas de BRS Formosa na presença do biocontrole. Já na ausência do biocontrole, as plantas de BRS Formosa apresentaram média superior às plantas de BRS Kiriris. Em relação ao biocontrole, as plantas de BRS Kiriris apresentam menor índice de colonização interna das manivas quando não inoculadas, em relação à aplicação. O oposto é observado para as plantas de BRS Formosa (Figura 3: B). Esses resultados indicam que o *Trichoderma* além de promover crescimento radicular em plantas de BRS Formosa, também atuou como biocontrolador de patógenos que acometem o genótipo, reduzindo os sintomas de colonização.

O efeito da aplicação sobre o Colint no genótipo BRS Kiriris (Figura 3: B) pode estar associado à fisiologia do genótipo, uma vez que espécies do gênero *Trichoderma* são reconhecidas por seu potencial biocontrolador de patógenos em plantas. Ademais, o Mix de *Trichoderma* promoveu incrementos na biomassa fresca e seca, além de maior desenvolvimento radicular nas mudas de BRS Kiriris.

Houve efeito significativo ( $p < 0.001$ ) do fator biocontrole para a colonização externa (Colext), efeito individual do solo ( $p < 0.05$ ) foi observado para colonização interna (Colint), e efeito significativo ( $p < 0.01$ ) do fator

cultivar para altura de plantas. As médias de altura de plantas, Colext e Colint, foram estatisticamente iguais entre todos os tratamentos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Efeito isolado para alturas de plantas em resposta ao fator cultivares, da aplicação com Mix de *Trichoderma asperellum* sobre a colonização externa (Colext), e do tratamento do solo sobre a colonização interna (Colint), em plantas de mandioca.

Esterilização do Solo		<i>Trichoderma asperellum</i>		Genótipos	
Colint		Colext		Altura (cm planta <sup>-1</sup> )	
<b>Não-esterilizado</b>	42,70a	<b>Presença</b>	0,74a	<b>Formosa</b>	27,11a
<b>esterilizado</b>	33,33 a	<b>Ausência</b>	0,83a	<b>Kiris</b>	27,46a
<b>CV (%)</b>	22.83		23.99		7.45

\*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

#### 4. DISCUSSÃO

As interações entre plantas, microrganismos benéficos e patógenos do solo desempenham um papel fundamental no desempenho fisiológico e produtivo das culturas agrícolas. A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), por ser uma planta amplamente cultivada em regiões tropicais, está sujeita a diversas doenças de solo, principalmente as causadas por fungos (SOUSA et al., 2024; SILVA et al., 2025), que compromete não apenas o crescimento e a produtividade da cultura, mas também a integridade estrutural da maniva, comprometendo o uso do material vegetativo em ciclos subsequentes.

Os resultados encontrados revelam que a aplicação com o Mix de *T. asperellum* (CMF 1006 e CMF 1007) promoveu ganhos em altura de plantas, biomassa aérea e desenvolvimento radicular, em ambas os genótipos, com influência direta no desenvolvimento das mudas (TYSKIEWICZ et al., 2022). Esses resultados estão de acordo com a literatura, que descreve efeitos benéficos às plantas mediados por espécies de *Trichoderma*, incluindo aumento da absorção de nutrientes, maior crescimento vegetal e ativação de respostas de defesa (ILLESCAS et al., 2021; HUGAR & NAYAKAM, 2025; BADER et al., 2020; MEHETRE & MUKHERJEE, 2015).

Além disso, os dados indicam que o Mix de *Trichoderma* apresenta capacidade de adaptação mesmo que em condições adversas, como em solo esterilizado, utilizando os nutrientes disponíveis de forma eficiente, promovendo ganhos em alturas de plantas e peso seco de parte aérea e raiz, mostrando uma resposta eficiente em ambiente de baixa densidade microbiana, uma característica do fungo que contribui para o crescimento vegetal (MACIAS-RODRIGUEZ et al., 2020), e reduzindo os impactos de estresses abióticos (ALFIKY et al., 2021). Dessa forma, a eficácia do *Trichoderma* não depende exclusivamente da presença de uma microbiota ativa, mas também de sua habilidade em explorar recursos e interagir com o hospedeiro de forma eficiente.

O principal efeito do fungo sobre o crescimento vegetal foi evidenciado em condições reais, ou seja, em solo não-esterilizado, demonstrando sua capacidade de atuação mesmo diante de uma comunidade edáfica abundante e complexa. Isso sugere que *T. asperellum* consegue atuar como promotor de crescimento mesmo num ambiente microbiano já estabelecido, possivelmente via mecanismos como competição, antagonismo e antibiose, sem comprometer sua capacidade de promover o crescimento vegetal.

Além disso, os resultados mostraram que as espécies vegetais se constituem como um dos principais fatores que moldam a estrutura e a composição das comunidades microbianas do solo. Ao liberar exsudatos radiculares específicos as plantas alteram as condições do solo, promovendo comunidades microbianas distintas, sobretudo para fungos e determinados grupos bacterianos (BORYMSKI et al., 2018; BURNS et al., 2015; CHEN et al., 2019.; FOX et al. 2020; XU et al., 2023).

Os resultados mostraram que o genótipo BRS Formosa foi o mais responsivo na presença de inoculação, apresentando maiores ganhos quando recebeu a aplicação do microrganismo benéfico. Por outro lado, mostrou-se mais sensível a sintomas de colonização externa em presença de microrganismos edáficos, o que pode ser atribuído a uma resposta fisiológica do genótipo.

Nesse contexto, recomenda-se o cultivo do BRS Formosa aliado à aplicação do Mix de *Trichoderma asperellum*, uma vez que essa combinação potencializa o desempenho agrônômico da cultura, promovendo maior

acúmulo de biomassa, melhor desenvolvimento do sistema radicular e maior tolerância às adversidades causadas por patógenos de solo. Assim, os resultados obtidos com a utilização conjunta da BRS Formosa e do Mix de *T. asperellum* reforçam a recomendação do uso desses microrganismos, especialmente em ambientes com histórico de elevada densidade fitopatogênica.

Complementarmente, os resultados obtidos para o genótipo BRS Kiriris evidenciam sua maior resistência às doenças de raízes, com menor severidade de colonização interna mesmo na ausência de *Trichoderma*, sob condições de elevada densidade fitopatogênica, o que corresponde as características intrínsecas de tolerância do genótipo (HOHENFELD et al., 2024). Entretanto, a aplicação com o Mix de *Trichoderma* resultou em ganhos de MFPA, MSPA e MSR, mostrando que o uso dos microrganismos benéficos amplia sua capacidade de resposta.

A resposta diferencial dos genótipos avaliados nesse estudo evidencia a importância do fator genético na interação planta-microrganismo. Diversos estudos mostram que o genótipo da mandioca influencia fortemente a colonização por patógenos, devido a diferenças fisiológicas como abertura estomática, composição da superfície foliar, metabolismo radicular e ativação de respostas imunes (GARCIA-OLIVEIRA et al., 2020; NDUWUMUREMY et al., 2017; NGATSI et al., 2024; HOHENFELD et al., 2022).

Apesar da importância das espécies vegetais, outros fatores como tipo de solo, e condições abióticas como pH, umidade e nutrientes também exercem forte influência, podendo até superar o efeito das plantas (CABRAL-MIRAMONTES et al., 2022; NIETO-JACOBO et al., 2017). De acordo com os resultados, o tratamento do solo exerceu influência significativa sobre as variáveis avaliadas; contudo, a magnitude e a direção desse efeito variaram em função da aplicação do mix de *Trichoderma* e do genótipo avaliado, evidenciando uma interação do tipo genótipo vs ambiente.

De modo geral, os resultados evidenciam que a eficiência do *Trichoderma asperellum* está associada tanto à sua versatilidade ecológica quanto à resposta genotípica das plantas hospedeiras. Contudo, a interação positiva entre *T. asperellum* e os genótipos de mandioca demonstra o potencial desse microrganismo como ferramenta de manejo biológico

integrada, com forte influência sobre o crescimento inicial das mudas, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de produção de mandioca.

## 5. CONCLUSÃO

A aplicação do mix de *Trichoderma asperellum* (CMF 1006 e CM 1007) é recomendada para o cultivo dos genótipos BRS Formosa e BRS Kiriris, promovendo maior crescimento das mudas, sendo uma estratégia primordial para potencializar o desempenho de ambos os genótipos.

## 6. REFERÊNCIAS

BORYMSKI, S.; CYCOŃ, M.; BECKMANN, M.; MUR, L.; PIOTROWSKA-SEGET, Z. Plant species and heavy metals affect biodiversity of microbial communities associated with metal-tolerant plants in metalliferous soils. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, 2018. 10.3389/fmicb.2018.01425.

BURNS, J.; ANACKER, B.; STRAUSS, S.; BURKE, D. Soil microbial community variation correlates most strongly with plant species identity, followed by soil chemistry, spatial location and plant genus. **AoB Plants**, v. 7, 2015. 10.1093/aobpla/plv030.

CABRAL-MIRAMONTES, J. P.; OLMEDO-MONFIL, V.; LARA-BANDA, M.; ZÚÑIGA-ROMO, E. R.; ARÉCHIGA-CARVAJAL, E. T. Promotion of Plant Growth in Arid Zones by Selected *Trichoderma* spp. Strains with Adaptation Plasticity to Alkaline pH. **Biology**, v. 11, n. 8, p. 1206, 2022. 10.3390/biology11081206.

CAMPOS, B.; ARAUJO, A.; FELSEMBURGH, C.; VIEIRA, T.; LUSTOSA, D. *Trichoderma* contributes to the germination and seedling development of açai palm. **Agriculture**, 2020. 10.3390/agriculture10100456.

CETINKAYA, N.; PAZARLAR, S.; PAYLAN, İ. Ozone treatment inactivates common bacteria and fungi associated with selected crop seeds and ornamental bulbs. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, 2022. 10.1016/j.sjbs.2022.103480.

CHEN, L.; XIANG, W.; WU, H.; SHUAI, O.; ZHOU, B.; ZENG, Y.; CHEN, Y.; KUZUYAKOV, Y. Tree species identity surpasses richness in affecting soil microbial richness and community composition in subtropical forests. **Soil Biology and Biochemistry**, 2019. 10.1016/j.soilbio.2018.12.008.

CLAPA, D.; HÂRȚA, M. Establishment of an efficient micropropagation system for *Humulus lupulus* L. cv. Cascade and confirmation of genetic

uniformity of the regenerated plants through DNA markers. **Agronomy**, 2021. 10.3390/agronomy11112268.

DE SOUSA, W.; BRITO, N.; FELSEMBURGH, C.; VIEIRA, T.; LUSTOSA, D. Evaluation of *Trichoderma* spp. isolates in cocoa seed treatment and seedling production. **Plants**, v. 10, 2021. 10.3390/plants10091964.

FOX, A.; LÜSCHER, A.; WIDMER, F. Plant species identity drives soil microbial community structures that persist under a following crop. **Ecology and Evolution**, v. 10, p. 8652-8668, 2020. 10.1002/ece3.6560.

FUCHS, M. et al. Economic studies reinforce efforts to safeguard specialty crops in the United States. **Plant Disease**, 2020. 10.1094/pdis-05-20-1061-fe.

GAO, Y. et al. Análise dos mecanismos moleculares e bioquímicos envolvidos na relação simbiótica entre fungos micorrízicos arbusculares e *Manihot esculenta* Crantz. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. 10.3389/fpls.2023.1130924.

GARCIA-OLIVEIRA, A.; KIMATA, B.; KASELE, S.; KAPINGA, F.; MASUMBA, E.; MKAMILO, G.; SICHALWE, C.; BREDESON, J.; LYONS, J.; SHAH, T.; MURANAKA, S.; KATARI, M.; FERGUSON, M. Genetic analysis and QTL mapping for multiple biotic stress resistance in cassava. **PLoS ONE**, v. 15, 2020. 10.1371/journal.pone.0236674.

GUERRERO, R.; HERRERA-PUCHA, M.; RODRÍGUEZ-CASTRO, R.; VILLAMAR-TORRES, R. Effect of *Bacillus* sp. and *Trichoderma* spp. on the development of banana seedlings (*Musa* spp. AAA) in the nursery stage. **Revista Terra Latinoamericana**, 2025. 10.28940/terralatinoamericana.v43i.2065.

HOHENFELD, C. S.; OLIVEIRA, S. A. S.; FERREIRA, C. F.; MELLO, V. H.; MARGARIDO, G. R. A.; PASSOS, A.; OLIVEIRA, E. J. Comparative analysis of infected cassava root-rot incited by soil-borne pathogens: transcriptome of two contrasting genotypes (BRS Kiriris / BGM-1345). **Scientific Reports**, v. 14, p. 60847, 2024.

HOHENFELD, C.; PASSOS, A.; DE CARVALHO, H.; DE OLIVEIRA, S.; DE OLIVEIRA, E. Genome-wide association study and selection for field resistance to cassava root rot disease and productive traits. **PLoS ONE**, v. 17, 2022. 10.1371/journal.pone.0270020.

HOLMES, J.; LUNG, S.; COLLYER, D.; PUNJA, Z. Variables affecting shoot growth and plantlet recovery in tissue cultures of drug-type *Cannabis sativa* L. **Frontiers in Plant Science**, 2021. 10.3389/fpls.2021.732344.

JALA, I. M.; SILVA, C. C.; FILHP, J. S. S.; OLIVEIRA, E. J.; NÓBREGA, R. S. A. Seedlings of cassava varieties are responsive to organic fertilization.

**SEMINA**, v. 40, n.55, p. 21-51, 2019. :10.5433/1679-0359.2019v40n5Supl1p2151

KUMAR, D. et al. Tissue culture in banana cultivation: a review of its impact on disease management, yield improvement, and sustainable production. **Journal of Advances in Biology & Biotechnology**, 2024. 10.9734/jabb/2024/v27i91336.

LUSTOSA, D.; ARAUJO, A.; CAMPOS, B.; VIEIRA, T. *Trichoderma spp.* and its effects on seeds physiological quality and seedlings development of African mahogany. **Agrária**, v. 15, p. 1-7, 2020. 10.5039/agraria.v15i1a5843.

MANZAR, N.; KASHYAP, A.; GOUTAM, R.; RAJAWAT, M.; SHARMA, P.; SHARMA, S.; SINGH, H. *Trichoderma*: advent of versatile biocontrol agent, its secrets and insights into mechanism of biocontrol potential. **Sustainability**, 2022. 10.3390/su141912786.

NDUWUMUREMYI, A.; MELIS, R.; SHANAHAN, P.; THEODORE, A. Interaction of genotype and environment effects on important traits of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Crop Journal**, v. 5, p. 373-386, 2017. 10.1016/j.cj.2017.02.004.

NIETO-JACOBO, M. F.; STEYAERT, J. M.; SALAZAR-BADILLO, F. B.; NGUYEN, D. V.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M. FRANKEN, P. Environmental growth conditions of *Trichoderma spp.* affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.102, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00102>

NGATSI, P. et al. Response of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genotypes to natural infestation by scale insect pest *Stictococcus vayssierei* Richard. **Current Research in Insect Science**, v. 5, 2024. 10.1016/j.cris.2024.100071.

PATIÑO, M.; CASTILLO, V.; CUEVAS, C.; RODRÍGUEZ, J.; MOREIRA, Á. *Trichoderma spp.* en la propagación sostenible de *Theobroma cacao* L. bajo distintos sustratos. **Multidisciplinary Collaborative Journal**, 2025. 10.70881/mcj/v3/n2/52.

SAFRIANI, S.; FITRI, L.; ISMAIL, Y. Isolamento de rizobactérias potencialmente promotoras do crescimento vegetal (PGPR) do solo da rizosfera da mandioca (*Manihot esculenta*). **Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education**, v. 12, p. 459-468, 2020. 10.15294/biosaintifika.v12i3.25905.

SANTOS, M.; SANTOS, L.; COSTA, D.; VIEIRA, T.; LUSTOSA, D. *Trichoderma spp.* on treatment of *Handroanthus serratifolius* seeds: effect on seedling germination and development. **Heliyon**, v. 6, 2020. 10.1016/j.heliyon.2020.e04044.

SHAHRIAR, S.; ISLAM, M.; CHUN, C.; KAUR, P.; RAHIM, M.; ISLAM, M.; UDDAIN, J.; SIDDIQUEE, S. Microbial metabolomics interaction and ecological challenges of *Trichoderma* species as biocontrol inoculant in crop rhizosphere. **Agronomy**, 2022. 10.3390/agronomy12040900.

SHAO, Y. et al. Synergic interactions between *Trichoderma* and the soil microbiomes improve plant iron availability and growth. **NPJ Biofilms and Microbiomes**, v. 11, 2025. 10.1038/s41522-025-00684-z.

SOOD, M. et al. *Trichoderma*: the “secrets” of a multitalented biocontrol agent. **Plants**, v. 9, 2020. 10.3390/plants9060762.

TAO, C.; WANG, Z.; LIU, S.; LV, N.; DENG, X.; XIONG, W.; SHEN, Z.; ZHANG, N.; GEISEN, S.; LI, R.; SHEN, Q.; KOWALCHUK, G. Additive fungal interactions drive biocontrol of *Fusarium* wilt disease. **The New Phytologist**, 2023. 10.1111/nph.18793.

TY, R.; K. ; OZIMEK, E. *Trichoderma*: the current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, 2022. 10.3390/ijms23042329.

XU, Z.; HU, Z.; JIAO, S.; BELL, S.; XU, Q.; L.; CHEN, J. Depth-dependent effects of tree species identity on soil microbial community characteristics and multifunctionality. **Science of the Total Environment**, 2023. 10.1016/j.scitotenv.2023.162972.

## **CAPÍTULO 2**

**Bioinsumos associados a adubação orgânica no controle de patógeno radicular em cultivo da mandioca**

## **Bioinsumos associados a adubação orgânica no controle de patógenos radiculares em cultivo da mandioca**

**RESUMO:** As doenças radiculares são um dos principais desafios no cultivo da *Manihot esculenta* Crantz, por comprometer a qualidade e produtividade da cultura, além de serem de difícil controle. O manejo dessas doenças com a adoção de estratégias integradas e eficazes se constituem como ferramenta promissora. Nesse contexto, a integração de fontes de adubação orgânica associadas a agentes de biocontrole apresenta potencial, uma vez que podem induzir a supressividade do solo, ao mesmo tempo que promovem ganhos de produção em cultivares de mandioca. Objetivou-se avaliar o efeito de *Trichoderma asperellum* sobre o crescimento de cultivares de mandioca, bem como analisar a eficácia do manejo integrado no controle de doenças radiculares associadas às plantas. Foram instalados três ensaios. O primeiro avaliou o efeito do biocontrole sobre as cultivares Formosa e Kiriris, cultivadas em solo estéril e natural. Os outros dois ensaios foram instalados de forma consecutiva, e avaliaram o efeito do manejo integrado sobre o crescimento da mandioca e supressividade do solo, onde (experimento I) corresponde a cultivar Poti Branca e (experimento II) a Novo Horizonte. Os resultados para o primeiro ensaio mostraram que as cultivares responderam de forma positiva à inoculação com *T. asperellum*, como também ao cultivo em solo natural, com incrementos de produtividade. Para os outros dois ensaios consecutivos, se observou que o manejo integrado promoveu incrementos nos parâmetros de crescimento avaliados: (vigor, altura de plantas, biomassa fresca e seca das plantas e desenvolvimento radicular), além disso reduziu a incidência de sintomas de colonização interna e externa das manivas. Entretanto, as respostas variaram entre as cultivares e entre as fontes de adubação (torta de mamona e cama de aviário), o que indica a necessidade de ajustes específicos para cada condição de cultivo. O manejo integrado por meio da adubação orgânica e *Trichoderma asperellum* é uma estratégia em potencial para promover o crescimento e a sanidade das cultivares de mandioca.

**Palavras chave:** Cama de aviário, *Fusarium* sp., *Lasiodiplodia* sp., *Neositalidium* sp., Torta de mamona.

## **Cassava growth and root rot management through organic fertilization and *Trichoderma asperellum***

**ABSTRACT:** Crantz, because they compromise crop quality and productivity and are difficult to control. Managing these diseases through integrated and effective strategies represents a promising tool. In this context, the integration of organic fertilizer sources associated with biocontrol agents shows potential, as they can induce soil suppression while promoting production gains in cassava cultivars. The objective of this study was to evaluate the effect of *Trichoderma asperellum* on the growth of cassava cultivars and analyze the effectiveness of integrated management in controlling root diseases associated with these plants. Three trials were conducted. The first evaluated the effect of biocontrol on the Formosa and Kiriris cultivars, grown in sterile and natural soil. The other two trials were conducted consecutively and evaluated the effect of integrated management on cassava growth and soil suppressiveness, where (experiment I) corresponded to the Poti Branca cultivar and (experiment II) to Novo Horizonte. The results of the first trial showed that the cultivars responded positively to inoculation with *T. asperellum*, as well as to cultivation in natural soil, with increased productivity. For the other two consecutive trials, it was observed that integrated management promoted increases in the evaluated growth parameters (vigor, plant height, fresh and dry biomass of the plants, and root development), in addition to reducing the incidence of internal and external colonization symptoms of the cassava stems. However, responses varied between cultivars and fertilizer sources (castor bean meal and poultry litter), indicating the need for specific adjustments for each growing condition. Integrated management using organic fertilizer and *Trichoderma asperellum* is a potential strategy to promote the growth and health of cassava cultivars.

**Key words:** Poultry litter, *Fusarium ssp.*, *Lasiodiplodia ssp.*, *Neositalidium ssp.*, Castor bean meal.

## 1. INTRODUÇÃO

Fungos patogênicos são um dos principais desafios nas culturas de interesse agrícola, por causarem sérios prejuízos à qualidade das plantações e produtividade das culturas (KOWSARI et al., 2016; KUMARI et al., 2024; SOUSA et al., 2024). A mandioca (*Manihot esculenta*) é um alimento básico em várias regiões tropicais, tanto no Brasil como em outros países, e a presença de fungos patogênicos do solo representa uma ameaça para o seu cultivo, com perdas econômicas significativa (SOUSA et al., 2024; SILVA et al., 2025).

Patógenos como *Fusarium* spp., *Lasiodiplodia* spp., e *Neoscytalidium* spp. são amplamente conhecidos pela podridão radicular da mandioca, que comprometem o desenvolvimento das plantas (SOUSA et al., 2024; SILVA et al., 2025), através de mecanismos como obstrução do xilema, fitotoxinas e estresse oxidativo. Possuem ainda grande capacidade saprofítica e de sobrevivência, sendo de difícil controle (MACHADO et al., 2018).

Nesse sentido, o uso do controle biológico por meio de fungos antagonistas, como *Trichoderma* spp., apresentam grande potencial no manejo das podridões da mandioca, ao atuarem na supressão dos fitopatógenos do solo (KUMARI et al., 2024; LI et al., 2024; SINGH et al., 2024), proporcionando uma alternativa sustentável ao uso de defensivos químicos (BASMISILE et al., 2021). Ademais, a associação de *Trichoderma* com fontes orgânicas, podem reduzir significativamente a severidade da podridão radicular da mandioca, especialmente por promover melhorias na fertilidade do solo (SILVA et al., 2022).

A adubação orgânica, como a aplicação de torta de mamona e cama de aviário, oferece benefícios para a nutrição das plantas e a para a qualidade do solo, pois melhoram sua estrutura, aumentam a disponibilidade de nutrientes e favorecem a atividade microbiana benéfica (AKANNMU et al. 2021; ASGHAR E KATAIKA, 2024). Este mecanismo pode atuar como uma barreira natural contra patógenos. Por exemplo, Natthaharit et al. (2024) observaram que o uso de esterco de galinha combinado com adubação

mineral favoreceu a nutrição de plantas de mandioca, com aumento nos teores de nutrientes e de matéria orgânica.

Diante desse contexto, a integração de agentes de controle biológico, particularmente do gênero *Trichoderma*, à adubação orgânica pode induzir a supressividade do solo a fitopatógenos, favorecendo a sanidade e a resiliência da mandioca frente às doenças radiculares. Neste estudo, hipotetiza-se que a adubação orgânica com cama de aviário e/ou torta de mamona, associada à inoculação de *Trichoderma* spp., intensifica a supressividade edáfica, reduzindo a incidência e a severidade de patógenos radiculares com ganhos de produtividade da cultura. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do manejo integrado com a aplicação do *Trichoderma asperellum* associado a adubação orgânica à base de cama de aviário e torta de mamona, sobre o crescimento de mudas da mandioca, genótipos BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte, sobre o controle de fungos patogênicos causadores de podridões radiculares.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Teste de antagonismo *in vitro* entre os isolados de biocontrole sobre os isolados de podridão radicular**

Foi realizado o teste de antagonismo entre os isolados por meio do confronto direto em placas de Petri (90 x 15 mm) com meio BDA. Para o teste adotou-se esquema fatorial 2 x 4, sendo dois isolados de biocontrole: [*Trichoderma asperellum* (CMF 1007) e *Trichoderma asperellum* (CMF 1006)]; e quatro isolados patogênicos [*Fusarium solani* (A4.1); *Fusarium oxysporum* (A11.2); *Lasiodiplodia* sp. (36-SE); e *Neoscytalidium dimidatum* (CBPPR1011)]. Para a confrontação foi utilizado discos de (5 mm de diâmetro) do micélio, que foram colocados em lados opostos na mesma placa de Petri em direção equivalente, a uma distância de 3 cm da borda da placa e acondicionados em BOD a 25°C, segundo o método proposto por Mariano (1930). Cinco dias após incubação em BOD. os isolados de *Trichoderma* spp. foram repicados para as placas com os isolados de *F. solani* (A4.1) e *F.*

*oxysporum* (A11.2), devido ter o crescimento micelial mais acelerado. O diâmetro do crescimento micelial das colônias foi avaliado medindo em sentido perpendicular. Para a quantificação da inibição em porcentagem utilizou-se a seguinte fórmula segundo Menten et al. (1976) :

$$\text{Fórmula: (FI \%)} = \text{RGI} \times 100$$

Onde:  $\text{RGI} = (\text{C} - \text{T}) / \text{C}$ ;

**T**= diâmetro médio do crescimento micelial do patógeno na presença do agente de biocontrole

**C**= diâmetro médio do crescimento do patógeno nas placas de controle

## 2.2 Ensaio experimental

Na Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas - BA (12°40'39"S, 39°06'23", 226 m de altitude), foram instalados dois ensaios experimentais de forma consecutiva.

No primeiro ensaio se utilizou o genótipo BRS Poti Branca, e no segundo o genótipo BRS Novo Horizonte. As hastes coletadas para o cultivo de ambos os genótipos foram coletadas no campo experimental da Embrapa.

O substrato de cultivo utilizado em ambos os ensaios (I e II) foi solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico (LAd), coletado em trincheira localizada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA, na camada de 0,20 m de profundidade. As características químicas foram apresentadas conforme o seguinte resultado: pH (H<sub>2</sub>O): 5,6; P: 3 mg dm<sup>-3</sup>; K: 0,07 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca: 1,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 0,72 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; (H+Al): 1,58 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al: 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Na: 0,03; cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>; SB: 1,98 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC: 3,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V: 56%; M.O: 8,0 g Kg<sup>-1</sup>.

Como fontes de adubação orgânica utilizou-se a cama de aviário e a torta de mamona. A caracterização físico-químico dos adubos estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização físico-químico da cama de aviário e da torta de mamona.

	<b>Cama de aviário</b>	<b>Torta de mamona</b>
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
pH	8,48	7,77
Umidade (65 °C)	17,7	9,1
Carbono orgânico total (%)	39	44,1%
Nitrogênio total (%)	2,08	7,27
Potássio total(%)	3,8	2,3
Cálcio total(%)	1,82	1,23
Fósforo total(%)	2,18	1,36
Magnésio total(%)	< 0,5	0,78
Matéria orgânica total(%)	67,2%	76%
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,05	< 0,05
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0,05	< 0,05
Ferro(%)	< 0,05	0,13
Enxofre (%)	< 1,0	< 1,0
Relação C/N	18,75	6,07

Os parâmetros físico-químicos foram determinados de acordo com os métodos oficiais estabelecidos na Instrução Normativa SDA/MAPA nº 003/2017. A umidade a 65 °C foi obtida segundo o Cap. III-D1. O pH em CaCl<sub>2</sub> foi determinado conforme o Cap. II-15. A matéria orgânica e o carbono orgânico total foram quantificados pelos métodos descritos nos Cap. III-13 e Cap. III-E13, respectivamente. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi mensurada conforme o Cap. III-15, enquanto o nitrogênio total seguiu o procedimento do Cap. III-E1.1. A relação C/N foi calculada conforme o Cap. III-6. Os teores de fósforo total (P<sub>2</sub>O), potássio total (K<sub>2</sub>O), magnésio (Mg), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), cálcio (Ca) e ferro (Fe) foram determinados conforme capítulos específicos da referida normativa (Cap. I-2.2.1; Cap. I-7; Cap. I-14; Cap. I-10.2; Cap. I-12.1; Cap. I-13.1; Cap. I-8; Cap. I-14). O teor de enxofre (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) foi determinado segundo o método descrito no Cap. I-C-9.4.1. Todos os resultados foram obtidos seguindo procedimentos padronizados e acreditados conforme exigências do MAPA

Para os dois ensaios experimentais, adotou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial triplo 3 × 2 × 2, constituído por: (i) três fontes de adubação orgânica (cama de aviário, torta de mamona, ausência de adubação); (ii) mix de agentes de biocontrole [*Trichoderma asperellum* (CMF 1006 e CMF 1007)] (presença e ausência); e (iii) mix de patógenos [*Fusarium solani* (A4.1), *Fusarium oxysporum* (A11.2), *Lasiodiplodia* ssp. (36-SE), e *Neoscytalidium dimidiatum* (CBPPR1011)] (presença e ausência). O experimento foi estruturado com quatro blocos, contendo três unidades experimentais por bloco para cada combinação

fatorial, totalizando 144 parcelas experimentais em cada ensaio.

Para a instalação de cada ensaio experimental, realizou-se inicialmente a infestação do solo com o mix de patógenos. Para isso, foram adicionados 25 g do inóculo, contendo concentração de  $10^6$  UFC  $g^{-1}$ , aos vasos de 2,2 L de polietileno previamente preenchidos com solo. O inóculo foi incorporado na camada de aproximadamente 5 cm abaixo da superfície do solo, garantindo distribuição uniforme no interior de cada unidade experimental. O procedimento realizado para a preparação do inóculo está descrita no tópico 2.3.

Após 7 dias da infestação do solo, realizou-se a incorporação das adubações. Para isso, utilizou-se 3,3 (g planta<sup>-1</sup>) da cama de aviário e 1,8 (g planta<sup>-1</sup>) da torta de mamona em cada vaso separadamente, de acordo aos respectivos tratamentos. A incorporação dos adubos ocorreu na profundidade de 5 cm dos vasos com capacidade de 2,2 L.

Após 15 dias após essa etapa, procedeu-se à inoculação dos agentes de biocontrole. Para a aplicação, utilizou-se 166 g de cada inóculo  $10^6$  UFC  $g^{-1}$  crescido em arroz para 10 L de água potável, sendo homogeneizada manualmente por cerca de 20 minutos. Com o auxílio de um Becker, verteu-se 50 mL da solução nos vasos de 2,2 L de acordo aos respectivos tratamentos. O procedimento realizado para a preparação do inóculo está descrita no tópico 2.3.

O plantio de BRS Poti Branca (Experimento I) e BRS Novo Horizonte (Experimento II) ocorreu aos sete dias após a inoculação dos agentes de biocontrole no solo. Se utilizou manivas-sementes de 8 cm, selecionando somente as que se apresentaram sadias. Não houve desinfestação ou tratamento das manivas-sementes antes do plantio. As manivas-sementes foram plantadas em posição vertical, deixando entre dois a três olhos abaixo da superfície do solo, e dois acima.

Aos 50 dias após o plantio dos genótipos de mandioca, as seguintes variáveis foram avaliadas: vigor por escala de classificação, sendo: [1: (baixo vigor); (2): vigor intermediário; e (3): alto vigor] (SANTIAGO et al., 2018). A altura das plantas (ALT) foi mensurada com auxílio de régua graduada. A massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) foram

determinadas mediante pesagem em balança analítica. Os sintomas de colonização interna e externa das manivas foram avaliados segundo a escala proposta por Santiago et al. (2018). Para a colonização externa, adotou-se: (0) ausência de colonização e (1) presença de colonização. Para a colonização interna, utilizou-se a seguinte classificação: (1) colonização inferior a 1/3 do tecido; (2) colonização entre 1/3 e 2/3 do tecido; e (3) colonização superior a 2/3 do tecido (SANTIAGO et al., 2018).

### **2.3 Fontes e preparação do inóculo dos fitopatógenos causadores das podridões radiculares na mandioca e agentes de biocontrole**

Os isolados fúngicos causadores das podridões radiculares da cultura da mandioca, assim como os biocontroladores, foram adquiridos da micoteca do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Isolados patogênicos utilizados foram: para podridão seca, *Fusarium solani* (A4.1) e *Fusarium oxysporum* (A11.2); e para podridão negra, *Lasiodiplodia* sp. (36-SE) e *Neoscytalidium dimidiatum* (CBPPR1011). Como agentes de biocontrole utilizou-se o *Trichoderma asperellum* (CMF 1007) e *Trichoderma asperellum* (CMF 1006) .

O método adotado para a preparação dos inóculos por fermentação foi descrito por Steffen e Maldaner (2019) os isolados de podridões e biocontrole foram repicados em placas de Petri com meio Batata-Dextrose-Ágar (BDA), e acondicionados em câmara de crescimento BOD em foto-período de 12 horas a 28° C, por doze e sete dias, respectivamente.

Após esse período, foi realizada a suspensão de esporos de cada isolado. Para esse processo verteu-se 10 mL de água estéril em cada placa de Petri com as respectivas colônias fúngicas, e com o auxílio de uma escova de dente ocorreu a liberação dos conídios. Cada suspensão obtida foi filtrada em peneira de 45 mm em Becker. Todo o material utilizado foi previamente autoclavado.

Com o auxílio de uma seringa, 10 mL da suspensão obtida de cada isolado fúngico foram inoculados em sacos plásticos contendo 500 g de arroz. O arroz utilizado para a multiplicação de cada inóculo foi previamente hidratado em água corrente por 15 minutos, acondicionado em sacos

plásticos apropriados e autoclavado a 120 °C por 25 minutos, sendo posteriormente deixado para resfriar à temperatura ambiente.

Após o período descrito foi preparada uma suspensão fúngica na proporção (1:10) de arroz parboilizado e água destilada, para posterior diluição seriada. Para a contagem de conídios aéreos se utilizou a câmara de Neubauer em microscópio óptico, aumento 40x. Uma alíquota de 100 µl foi adicionada em placas com meio BDA, mantidas em BOD a 25 °C, durante 48 horas. A quantificação de conídios aéreos viáveis ocorreu por meio da contagem das Unidades Formadoras de Colônia (UFC), onde se ajustou a concentração de cada inóculo para 10<sup>6</sup> UFC g<sup>-1</sup> de substrato.

## **2.4 Análise estatística**

Os dados referentes ao vigor e colonização foram transformados pelo índice de Macquine. Todos dados obtidos foram avaliados quanto à normalidade, submetidos ao teste F da análise de variância e agrupados com base no teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade empregando-se o programa estatístico R (R Development Core Team, 2024). A atividade de confrontação direta fungo-fungo foi analisada utilizando as médias, e agrupadas pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade, e os valores expressos em média ± erro.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Atividade antagonista *in vitro* de microrganismos biocontroladores sobre fungos causadores da podridão seca da mandioca**

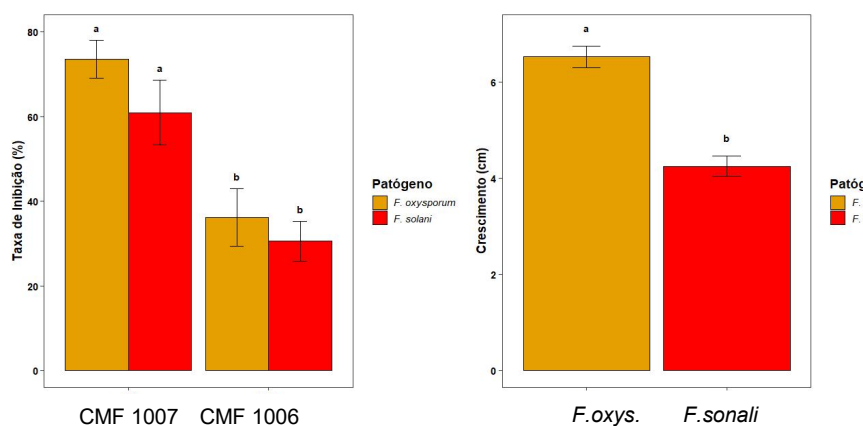
Houve diferença ( $p < 0,001$ ) da atividade antagonista entre os fungos biocontroladores sobre os patógenos. Os resíduos do modelo apresentaram distribuição normal, de acordo com o teste de Shapiro-Wilk ( $p = 0.11$ ) e variância homogênea (teste de Bartlett,  $p = [0.95]$ ).

Em relação ao crescimento micelial entre os isolados patogênicos, o *F. oxysporum* apresentou uma taxa de crescimento aproximadamente de 30%

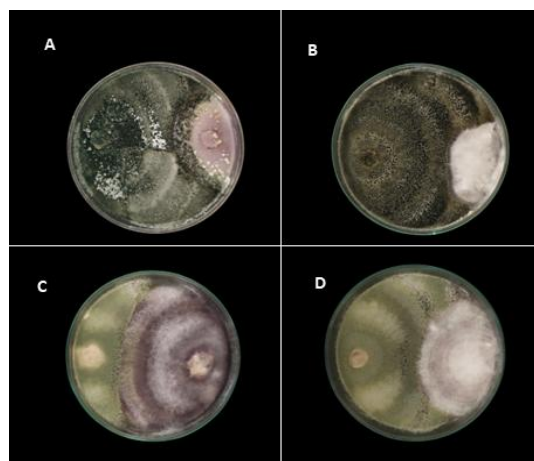
superior ao *F. solani*, com médias diferentes entre si ( $p < 0,001$ ) (Figura 1:B).

No teste de antagonismo *in vitro*, os dois isolados de *Trichoderma* promoveram controle sobre os isolados de *Fusarium*, entretanto, o *Trichoderma asperellum* (CMF 1007) apresentou maior porcentagem de inibição micelial (PICM), apresentando o maior valor médio (Figura 1:A). Espécies desse gênero possuem a capacidade de antagonizar e micoparasitar diversos fungos patogênicos, além de colonizar o sistema radicular das plantas e ativar respostas de defesa vegetal (Hermosa et al., 2012).

**Figura 1.** Porcentagem de inibição do crescimento micelial (PICM) de isolados de *Trichoderma asperellum* (CMF 1007 e CMF 1006) sobre isolados de *Fusarium oxysporum* e *F. solani*, *in vitro* (A); e taxa de crescimento dos isolados de fungos associados à podridão radicular da mandioca (B).



\*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \**Trichoderma asperellum* (CMF 1007); *Trichoderma asperellum* (CMF 1006), *F.oxys* (*Fusarium oxysporum*); *F.solani* (*Fusarium solani*).



**Figura 2.** Inibição do crescimento por atividade antagonista do *T. asperellum* (CMF 1007) sobre o crescimento micelial do *F. oxysporum* (A) e *F. solani* (B); e do *T. asperellum* (CMF 1006) sobre *F. oxysporum* (C) e *F. solani* (D).

**Autora:** Cheila Bonati

Em testes de confrontação direta realizados em ambiente *in vitro*, os isolados de *Trichoderma ssp.* não demonstraram eficácia no controle do crescimento micelial dos isolados de *Neositalidium ssp.* (CBPPR1011) e *Lasiodiplodia ssp.* (CMF 36-SE), cobrindo 100% as placas de Petri em presença com os agentes de biocontrole.

A eficácia do *Trichoderma asperellum* como agente de biocontrole contra espécies fúngicas diretamente relacionadas à podridão radicular como fungos do genero *Fusarium* é amplamente reconhecida (SOLDAN et al., 2018; ESLAHI et al., 2022; WOO et al, 2023). No entanto, apesar de sua relevância no combate à podridão seca da mandioca, os mecanismos de ação sobre *Neositalidium* e *Lasiodiplodia*, responsáveis pela podridão negra da cultura, não foram suficientemente investigados.

### **3.2 Efeito do manejo integrado sobre o crescimento das mudas dos genótipos de BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte**

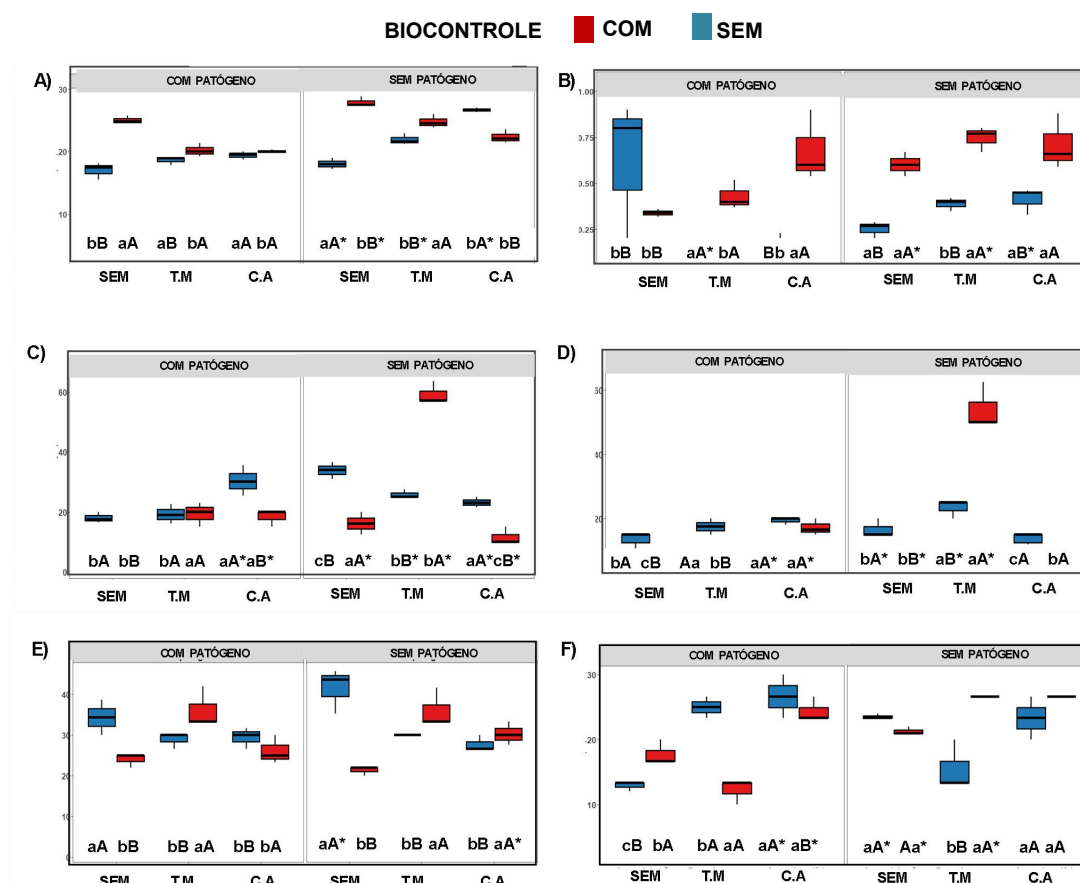
O desdobramento da interação tripla foi significativo ( $p < 0,05$ ) para as variáveis: altura, massa seca de raiz (MSR), colonização externa (Colext) e colonização interna (Colint), em mudas do genótipos de BRS Poti Branca; e para as variáveis: colonização externa (Colext) e colonização interna (Colint) em mudas do genótipos de BRS Novo Horizonte (Figura 3).

Quanto à variável altura das mudas do genótipo BRS Poti Branca, na condição de aplicação do biocontrole e presença dos patógenos, verificou-se que o tratamento sem adubação apresentou a maior média, com incremento de 20% em relação aos demais. Por outro lado, na ausência do biocontrole, mas sob inoculação dos patógenos, os tratamentos com adubação orgânica apresentaram médias superiores ao tratamento sem adubo, com aumento de aproximadamente 11,5% (Figura 3:A).

Ao avaliar cada tratamento individualmente, sob inoculação dos

patógenos, constatou-se que torta de mamona e o tratamento sem adubação associados a aplicação do biocontrole, apresentaram incrementos em altura de 7,5% e 13,9%, respectivamente, quando comparados às versões sem biocontrole. Para a cama de aviário, contudo, as médias obtidas foram semelhantes entre as condições com e sem aplicação do biocontrole (Figura 3:A).

**Figura 3.** Médias e Boxplot em resposta à adubação orgânica, aplicação de agentes de biocontrole e inoculação com patógenos de podridão radicular, sobre as variáveis: (A) altura ( $\text{cm planta}^{-1}$ ), B) massa seca de raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ); C) colonização externa (Colext), E) colonização externa (Colext), em mudas de BRS Poti Branca; D) colonização interna (Colint), e F) colonização interna (Colint), em mudas de BRS Novo Horizonte.



\*Médias seguidas pela mesma letra iguais não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott- Knott ( $p < 0,05$ ). Letra minúscula compara (níveis de adubo dentro do mesmo nível de biocontrole e mesmo nível de patógeno), letra maiúscula compara (níveis de biocontrole dentro do mesmo nível de adubo e mesmo nível de patógeno), o símbolo (\*) comparara (níveis de patógeno dentro do mesmo nível de adubo e mesmo nível de biocontrole). \*SEM: sem adubo, T.M: torta de mamona; C.A: cama de aviário.

Além disso, todos os tratamentos sob inoculação dos patógenos,

mesmo com a aplicação do biocontrole, apresentaram redução de altura em relação as suas versões sem a inoculação, sendo essa redução de 9% para a cama de aviário, 18,2% para a torta de mamona e 10% para o tratamento sem adubação (Figura 3:A).

Para a MSR das mudas do genótipo BRS Poti Branca (Figura 3:B), avaliadas na condição de presença de patógenos, se observa que houve diferença para a cama de aviário associada ao biocontrole, com incremento de aproximadamente 50% em relação aos demais tratamentos. Já na ausência dos patógenos, a torta de mamona associada ao biocontrole apresentou incremento de aproximadamente 78,7% em relação aos demais tratamentos. Na ausência dos patógenos, não houve diferença significativa entre as fontes de adubação e o tratamento sem adubo, independente da aplicação do biocontrole.

Quanto à colonização externa das mudas do genótipo BRS Poti Branca, na condição de aplicação do biocontrole e presença dos patógenos (Figura 3:C), houve diferença para as fontes de adubação, que promoveram incremento de 69,5% em comparação ao tratamento sem adubo. Já na ausência dos patógenos mas com biocontrole, verificou-se diferença apenas para a cama de aviário, que apresentou a maior média em relação aos demais tratamentos, os quais apresentaram médias semelhantes entre si.

Se observa ainda que, sob presença dos patógenos e aplicação do biocontrole, houve redução da Colext equivalente a 39,6% e 69,5%, para o tratamento cama de aviário e sem adubação, em relação aos respectivos tratamentos, na condição de presença dos patógenos e sem aplicação do biocontrole. Contudo, o tratamento com torta de mamona não apresentou diferença estatística entre as duas condições avaliadas, mantendo desempenho semelhante tanto na presença quanto na ausência do biocontrole.

Quanto à observação da colonização externa nas mudas do genótipo BRS Novo Horizonte (Figura 3:D), sob aplicação do biocontrole e inoculação dos patógenos, o tratamento cama de aviário promoveu o maior Colext, em relação aos demais. Enquanto que, na ausência do biocontrole e mesma condição de presença dos patógenos, as adubações promoveram médias semelhantes entre si, e superiores ao tratamento sem adubo.

Na mesma condição de presença dos patógenos, a aplicação do biocontrole reduziu a colonização externa nos tratamentos com torta de mamona e sem adubação, com reduções de 42,8% e 62,4%, respectivamente, em comparação aos mesmos tratamentos sem o biocontrole. Para o tratamento com cama de aviário, não houve diferença entre as condições com e sem aplicação do biocontrole.

Para a colonização interna do genótipo BRS Poti Branca (Figura 3:E), observou-se que, sob aplicação do biocontrole e presença dos patógenos, o tratamento com torta de mamona apresentou a maior média, com acréscimo de 28,1% em comparação aos demais. Na ausência do biocontrole, a maior média foi apresentada no tratamento sem adubação, com acréscimo de 16% em comparação aos demais.

Na análise do efeito do mix de *Trichoderma* em cada fonte de adubação, sob a presença de patógenos, observou-se que tanto a cama de aviário quanto o tratamento sem adubação apresentaram maior colonização interna quando não receberam o biocontrole. Por outro lado, a torta de mamona demonstrou resposta distinta, apresentando aumento da colonização interna quando o biocontrole foi aplicado.

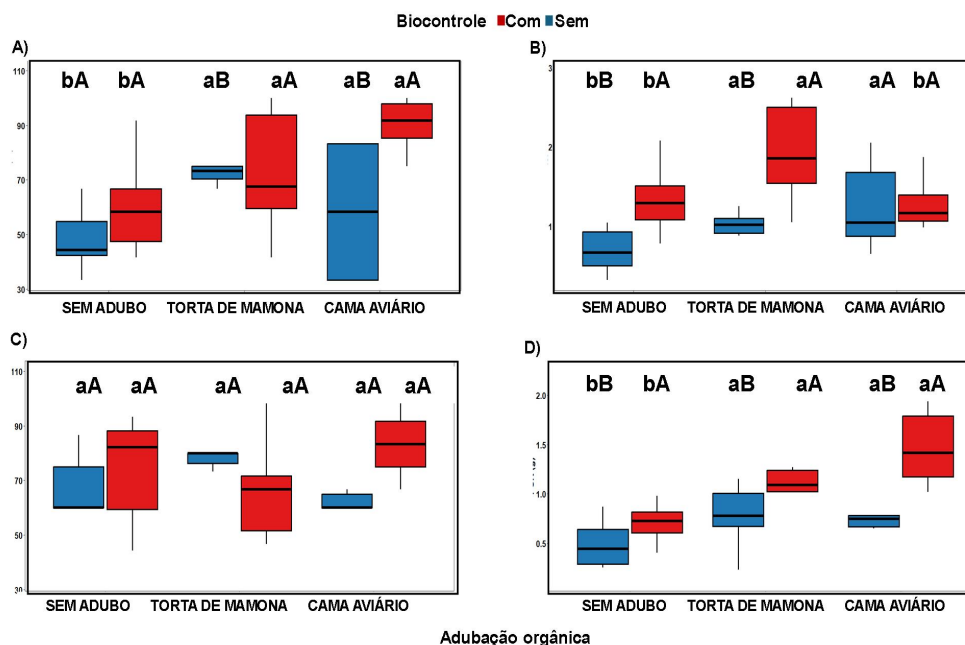
Para a colonização interna das mudas do genótipo BRS Novo Horizonte (Figura 3:F), verificou-se que, na condição de aplicação do biocontrole associada à presença dos patógenos, o tratamento com cama de aviário apresentou a maior média, registrando incremento de 50% em relação à torta de mamona e de 27,4% em comparação ao tratamento sem adubação. Na ausência do biocontrole, as adubações orgânicas apresentaram valores semelhantes entre si e superiores ao tratamento sem adubo, com aumento de 51,5%

Ao avaliar o efeito do mix de *Trichoderma* dentro de cada tratamento individualmente, na presença de patógenos, verificou-se que, para a torta de mamona, houve acréscimo de 51,2% na colonização interna na ausência do biocontrole, em relação à sua versão com biocontrole. Para o tratamento sem adubação, observou-se o comportamento oposto, com incremento de 27,1% quando aplicado o biocontrole. Já para a cama de aviário, não foram apresentadas diferenças entre as condições com e sem aplicação do biocontrole.

Com relação a interação dupla entre adubação vs biocontrole, houve efeito ( $p < 0,05$ ), para as variáveis: vigor e massa seca de parte aérea (MSPA), em mudas do genótipo BRS Poti Branca; e sobre as variáveis: vigor e massa seca de raiz (MSR), em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte (Figura 4).

Quanto ao vigor, as mudas do genótipo BRS Poti Branca (Figura 4:A) se apresentaram mais vigorosas quando submetidas aos tratamentos com a cama de aviário e torta de mamona com aplicação do biocontrole, e torta de mamona sem biocontrole, com valores médios semelhantes entre si, e superiores aos demais tratamentos. As mudas do genótipo BRS Novo Horizonte não apresentaram diferença significativa de vigor entre os tratamentos avaliados (Figura 4:C)

**Figura 4.** Médias e gráfico de Boxplot em resposta a aplicação do biocontrole e adubação orgânica sobre as variáveis: A) vigor, B) massa seca de parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em mudas do genótipo BRS Poti Branca; e C) vigor, D) massa seca de raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte.



\*Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si, pelo Teste de Skoot-Knot a 5% de probabilidade. Letras minúscula comparam níveis de adubação dentro do mesmo nível de biocontrole, letras maiúscula comparam níveis de biocontrole dentro do mesmo nível de adubação.

Para a MSPA (Figura 4:B) das mudas do genótipo BRS Poti Branca, observou-se diferença significativa para o tratamento com torta de mamona associado ao biocontrole e para a cama de aviário sem biocontrole, os quais apresentaram valores médios semelhantes entre si e superiores aos demais tratamentos. Esses tratamentos proporcionaram incremento de aproximadamente 35,7% em relação ao tratamento sem adubação com biocontrole e de 68,91% quando comparados ao tratamento sem adubação e sem biocontrole.

Na avaliação da MSR (Figura 4:D) das mudas do genótipo BRS Novo Horizonte, os tratamentos que combinaram cama de aviário ou torta de mamona com o mix de *Trichoderma* apresentaram as maiores médias, em relação aos demais tratamentos. Esse desempenho representou um incremento de MSR superior a 40,34% em comparação ao tratamento sem adubação associado ao biocontrole. Quando comparados ao tratamento controle absoluto (sem adubação e sem biocontrole), o efeito da associação entre as adubações e o biocontrole foi ainda mais relevante, resultando em incrementos de 66,9% para a cama de aviário e de 58,9% para a torta de mamona.

Com relação ao efeito da interação dupla entre (adubação vs patógenos), houve efeito sobre as variáveis: vigor, MFPA e MSPA, em mudas do genótipo BRS Poti Branca, e sobre a MSPA em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte (Figura 5).

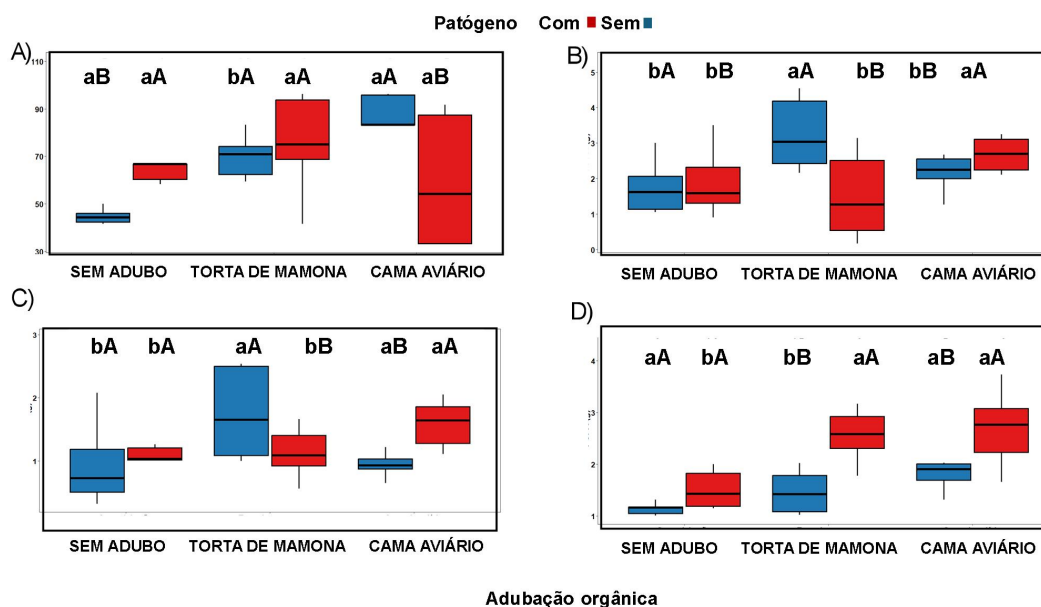
Para o vigor em mudas do genótipo BRS Poti Branca, não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam inoculação com patógenos (Figura 5:A). Enquanto que, na ausência dos patógenos, o maior vigor foi apresentado pelo tratamento cama de aviário, com aumento de 18,99% em relação a torta de mamona e 45,50% em relação ao tratamento sem adubo. Ao comparar o efeito da inoculação dos patógenos dentro de cada tratamento individualmente, observa-se que todos os tratamentos inoculados apresentaram redução do vigor em relação às respectivas versões não inoculadas, com exceção da torta de mamona, para a qual esse efeito não foi evidente.

As mudas do genótipo BRS Poti Branca apresentaram resposta de MFPA e MSPA semelhantes em relação a interação entre adubação vs

patógenos (Figura 4: B;C). Quanto a MSPA, sob inoculação dos patógenos, houve diferença entre a cama de aviário, com valor médio superior aos demais tratamentos. Esse incremento foi de 64,6% em relação a torta de mamona e 70,7% em relação ao sem adubo. No grupo sem patógenos, o maior valor médio de MSPA foi promovido pela torta de mamona, em relação aos demais tratamentos (Figura 5: C).

Quanto a MSPA, em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte, observa-se o efeito positivo da cama de aviário e da torta de mamona sobre a biomassa vegetal das mudas, que mesmo em presença de patógenos apresentaram valores médios superiores e diferentes dos demais tratamentos, promovendo ganhos de ~42,27% em relação ao tratamento sem adubação e sem patógeno e de ~38,63% em relação ao tratamento sem adubação com patógeno (Figura 5: D).

**Figura 5.** Médias e gráfico de Boxplot em resposta ao efeito da inoculação dos patógenos e adubação orgânica, sobre as variáveis: A) vigor, B) massa fresca de parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ), C) massa seca de parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ), em mudas do genótipo BRS Poti Branca; e D) massa seca de parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ), em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte.



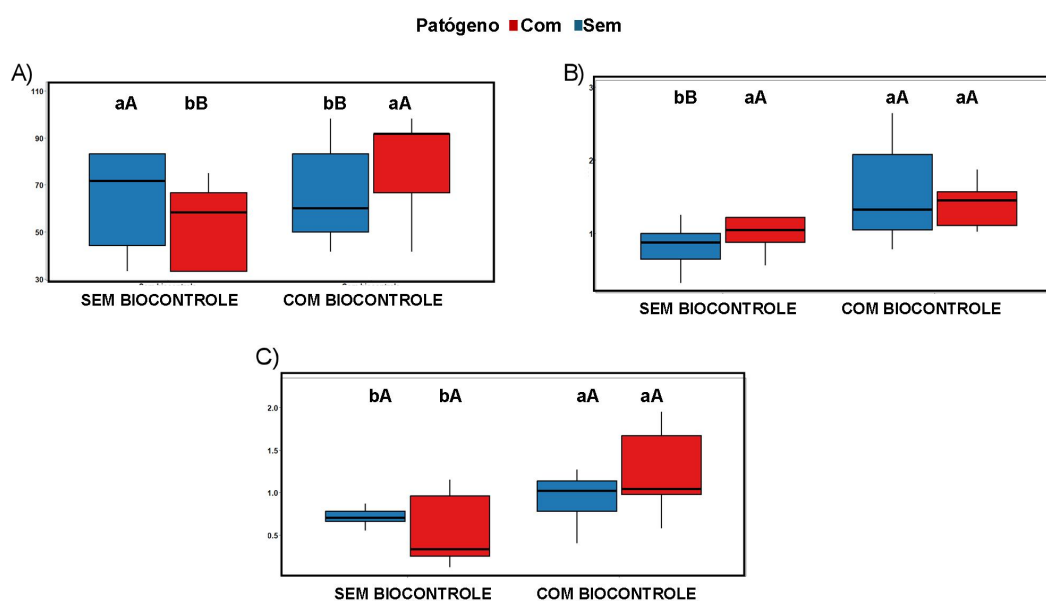
\*Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si, pelo Teste de Skoot-Knot a 5% de probabilidade. Letras minúscula comparam níveis de adubação dentro do mesmo nível de patógenos, letras maiúscula comparam níveis de patógenos dentro do mesmo nível de adubação.

Para a interação entre biocontrole vs patógenos, os resultados mostraram efeito ( $p < 0,05$ ) para as variáveis: vigor e MSPA, em mudas do genótipo BRS Poti Branca; e sobre a MSR das mudas do genótipo BRS Novo Horizonte (Figura 6).

Quanto ao vigor em mudas do genótipo BRS Poti Branca (Figura 6:A), o tratamento com presença dos patógenos e aplicação do biocontrole promoveu o maior valor médio, com incremento de 33%, em relação ao tratamento com presença dos patógenos e sem biocontrole. Com relação a MSPA, houve diferença apenas para o tratamento sem biocontrole e sem patógenos, com valor médio inferior a todos aos demais tratamentos (Figura 6:B).

Em relação a variável MSR para as mudas do genótipo BRS Novo Horizonte (Figura 6:C), todos os tratamentos que receberam a aplicação do mix de *Trichoderma* apresentaram valores médios superiores em relação aos demais tratamentos.

**Figura 6.** Médias e gráfico de Boxplot em função do efeito da inoculação dos patógenos e aplicação do biocontrole, sobre as variáveis: A) vigor, B) massa seca de parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ), em mudas do genótipo BRS Poti Branca; e C) massa seca de raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ), em mudas do genótipo BRS Novo Horizonte.



\*Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si, pelo Teste de Skoot-Knot a 5% de probabilidade. Letras minúscula comparam níveis de biocontrole dentro do mesmo nível de patógenos, letras maiúscula comparam níveis de patógenos dentro do mesmo nível de biocontrole.

Para o genótipo BRS Poti Branca houve efeito individual ( $p < 0,05$ ) tanto do biocontrole quanto do patógeno para a variável MFR (Tabela 2). Para o genótipo BRS Novo Horizonte, houve efeito individual ( $p < 0,05$ ) do biocontrole, para as variáveis altura e MFPA, e do patógeno para a MFR e MSPA (Tabela 3).

Com relação às mudas do genótipo BRS Poti Branca, a aplicação do *Trichoderma* promoveu aumento expressivo sobre a MFR, com incremento de 43,75% no MFR, em relação àquelas sem aplicação do biocontrole. Enquanto que, a inoculação dos patógenos reduziu a MFR em 28%, em relação àquelas não inoculadas (Tabela 2).

Com relação às mudas do genótipo BRS Novo Horizonte, a aplicação do biocontrole também promoveu maiores médias em altura, com acréscimo de 11,79%, em relação às mudas que não receberam aplicação. Para a MFPA, não houve diferença entre os tratamentos. A inoculação dos patógenos reduziu a MSPA em 35,24% em relação às mudas não inoculadas. Por outro lado, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos quanto à massa fresca de raiz (MFR), conforme apresentado na (Tabela 3).

**Tabela 2.** Médias em função do efeito individual dos fatores: aplicação do biocontrole; e inoculação com patógenos, sobre a massa fresca de raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ), em mudas do genótipo BRS Poti Branca.

Aplicação do Biocontrole	MFR	Inoculação com patógenos	MFR
	( $\text{g planta}^{-1}$ )		( $\text{g planta}^{-1}$ )
Com	1,63a	Com	0,77b
Sem	1,31a	Sem	1,07a
CV (%)	22,98		22,98

\*Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si, pelo Teste de Skoot-Knot a 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Médias em função do efeito individual da aplicação do biocontrole sobre as variáveis: altura e massa fresca de parte aérea (MFPA) ( $\text{g planta}^{-1}$ ), e efeito da inoculação com patógenos sobre as variáveis: massa fresca de raiz (MFR) ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e massa seca de parte aérea (MSPA) ( $\text{g planta}^{-1}$ ), em

mudas do genótipo BRS Novo Horizonte.

Aplicação do Biocontrole	Altura	MFPA
	(cm planta <sup>-1</sup> )	(g planta <sup>-1</sup> )
Com	22,05a	3,53a
Sem	19,45b	3,12a
CV (%)	11,68	18,38

Inoculação dos Patógenos	MSPA	MFR
	(g planta <sup>-1</sup> )	(g planta <sup>-1</sup> )
Com	2,27a	1,5a
Sem	1,47b	1,43a
CV (%)	18,33	22,68

\*Médias seguidas por letras semelhantes não diferem entre si, pelo Teste de Skoot-Knot a 5% de probabilidade.

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que a interação entre os fatores avaliados: adubação orgânica, biocontrole com *Trichoderma asperellum* e inoculação de patógenos de podridão radicular, tiveram forte influência sobre o crescimento das mudas de mandioca.

A aplicação do mix de *Trichoderma asperellum* promoveu o maior crescimento das mudas de mandioca. O aumento nos parâmetros avaliados pode ser atribuído a diversos mecanismos mediados por *Trichoderma spp.* como, estimulador do alongamento celular devido a produção de fitormônios (GUZMÁN-GUZMÁN et al., 2019), melhora a eficiência do uso de nutrientes (MEHETRE; MUKHERJEE, 2015), capacidade de solubilizar fosfato e sintetizar ácido indol-acético (BADER et al., 2020) e .Ensaio de campo com *Trichoderma asperelloides* também demonstraram incremento significativo na biomassa da parte aérea e raízes de planta de soja (SENGER, et al., 2023).

As adubações orgânicas foram eficientes em termos de acúmulo de biomassa e desenvolvimento radicular, em função da composição química dos insumos e maior a disponibilidade de nutrientes, conforme apresentados na Tabela 1. A torta de mamona, apresentou pH de (7,77) alta concentração

de carbono e nitrogênio e baixa relação C/N (6,07), indicando fornecimento dos nutrientes de forma rápida. Já a cama de aviário, apresentou pH mais alcalino (8,48) e relação C/N mais elevada (18,75), indicando liberação gradual de nutrientes, garantindo manutenção do vigor das plantas. Esse resultado está de acordo com os resultados encontrados para o efeito positivo da adubação orgânica sobre a produtividade da mandioca (SHAFEEK et al., 2012).

Na literatura, diversos estudos relatam o efeito positivo da utilização de insumos sobre o crescimento de culturas agrícolas. O esterco de galinha, com altas concentrações de N e P, assim como micronutrientes promoveu maiores concentrações de nutrientes foliares, crescimento e produtividade da batata-doce (AGBEDE; OYEWUMO, 2022). A aplicação de 4,2 ton/ha de esterco de galinha, promoveu maior média de rendimento de raízes frescas (27,66 ton/ha) e secas (9,55 ton/ha) e produção total de biomassa fresca (53,68 ton/ha) e seca (16,12 ton/ha) de mandioca (BIRATU et al., 2018). Assim como o nitrogênio, fósforo e potássio presentes na torta de mamona, que favorecem o desenvolvimento radicular e a atividade microbiana no solo, durante diferentes períodos de crescimento da planta (MINGJJING et al., 2025).

O resultado encontrado quanto ao efeito deletério dos isolados de podridão radicular sobre as mudas dos genótipos de BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte, está de acordo com a literatura, a qual descreve que fungos do gênero *Lasiodiplodia*, *Neositallyium* e *Fusarium*, causam danos em todo o ciclo da cultura, podendo levar a prejuízos severos (BRITO et al., 2020; BAHADUR, 2021).

A literatura descreve que as toxinas sintetizadas pelos patógenos afetam o crescimento das plantas (MACHADO et al., 2018), e causam estresse oxidativo (PLOETZ, 2015; PORTAL et al., 2018). Associado a isso, patógenos de podridão radicular limitam o crescimento vegetal por meio da degradação de tecidos radiculares e obstrução do xilema (FERREIRA et al., 2015; BANI et al., 2018).

Se observou que em alguns casos as mudas apresentaram maior crescimento vertical e maior incremento da biomassa radicular sob condições de presença de patógenos. Esse efeito pode estar associado à ativação das

respostas de defesa vegetal frente à infecção e à colonização por patógenos, que mesmo sob condições de estresse redirecionou seus recursos energéticos para o acúmulo de biomassa. De acordo com Li et al. (2015) alguns mecanismos de resistência são formados após a infecção, em que o patógeno entra nos tecidos, mas não pode se estabelecer devido a resposta de resistência da planta ser imediata.

Contudo, de maneira geral, a aplicação do do mix de *Trichoderma asperellum* atenuou os danos, indicando o seu potencial de biocontrole sobre os fungos associados a podridão radicular da mandioca.

Esse efeito do agente de biocontrole sobre os patógenos pode ser atribuído a diversos mecanismos mediados pelo fungo, amplamente descritos na literatura, dentre os quais, antagonismo, parasitismo, competição por espaço e nutrientes, produção de compostos secundários, como proteínas e peptídeos, terpenoides e enzimas com atividade antibiótica, que contribuem para o controle de fitopatógenos (CONTRERAS-CORNEJO et al., 2016), além de promover maior tolerância vegetal sobre o estresse abiótico e biótico, o que favorece o estabelecimento inicial e o desenvolvimento radicular (BROTMAN et al., 2013; MORAN-DIEZ et al., 2021; GENGet al., 2025).

Thepbandit et al. (2024) verificaram que compostos sintetizados a partir de *T. harzianum* atuam como um agente antifúngico para controlar a germinação de micélios de *L. theobromae* e *F. solani*, inibindo a podridão radicular em mandioca.

Entretanto, os resultados apontaram que a resposta do biocontrole foi potencializada pelas fontes de adubação, demonstrando um efeito sinérgico, refletido em maior crescimento das mudas de mandioca, desenvolvimento radicular, e maior estímulo do efeito supressivo do solo.

Esse desempenho pode ser atribuído a maior disponibilidade e/ou eficiência do uso de nutrientes às plantas, promovidos pelo *Trichoderma* spp. (MEHETRE;MUKHERJEE, 2015), assim como pela torta de mamona e cama de aviário, além do efeito positivo das fontes de adubação orgânica sobre a propriedade física do solo (porosidade e umidade) (AGBEDE, 2025; SILVA et al., 2012; LANNA et al., 2020) e química do solo (regulação das atividade enzimática), que favorece o crescimento das mudas (LI et al., 2024; VICHARE;MORYA, 2024).

Resultados semelhantes foram observados por Mingjing et al (2025), que relatou aumento significativo no crescimento, desenvolvimento, rendimento e qualidade do trigo com a aplicação biofertilizante de farelo de mamona. Yang et al. (2025) verificaram que a aplicação de fertilizantes bio-orgânicos influenciou positivamente no crescimento do pepino e melhorou a fertilidade do solo (matéria orgânica e conteúdo total de nitrogênio), reduziram patógenos, incluindo *Fusarium ssp*, além de enriqueceram a microbiota potencialmente benéfica.

Contudo, a associação entre as adubações e o biocontrole promoveu respostas distintas sobre a colonização externa e interna das mudas, mostrando que a composição físico-química dos adubos influenciou o estabelecimento de microrganismos, interagindo com a aplicação do biocontrole e a presença de patógenos.

A cama de aviário favoreceu maior colonização externa em ambos os genótipos, BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte, provavelmente devido ter apresentado um pH mais alcalino e maior umidade, enquanto que a torta de mamona promoveu maior colonização interna, o que pode estar relacionado à baixa relação C/N e alta concentração de nutrientes.

Associado a isso, esse resultado pode refletir provavelmente a uma resposta fisiológica intensa da planta à presença de metabólitos bioativos, que, embora benéficos para o controle de fitopatógenos, podem induzir ou alterar a microbiota rizosférica de forma a favorecer a expressão de sintomas, o que não invalida seu uso, haja vista que promoveu incrementos em diferentes parâmetros observados. A presença desses patógenos pode explicar o aumento dos sintomas fisiológicos, mesmo com adubação orgânica. Considerando que, o tratamento sem adubo teve os piores resultados em quase todos os parâmetros.

Além disso, a ação promotora de crescimento e supressora de doenças por *Trichoderma* é altamente dependente do ambiente edáfico e da composição química dos substratos, embora o maior índice de colonização tenham sido observados em algumas condições, esses sinais não são interpretados como falha do biocontrole, haja vista a capacidade de *Trichoderma ssp.* em reduzir significativamente doenças como a podridão radicular (QUEVEDO et al., 2024).

Os resultados demonstram que a integração entre o manejo orgânico e o biocontrole não só intensifica o crescimento inicial das mudas, como também modifica a capacidade supressiva do solo frente aos patógenos causadores da podridão radicular. Constituído-se como uma estratégia importante para a produção de mudas de mandioca.

## 5. CONCLUSÃO

O mix de *Trichoderma asperellum* promoveu o crescimento das mudas de mandioca e atenuou os danos causados pelos patógenos. Sua atividade biocontroladora foi potencializada pelas diferentes fontes de adubação orgânica, indicando uma interação positiva entre o biocontrole e o manejo orgânico do solo. Além disso, os genótipos apresentaram respostas diferenciadas em função da fonte de adubação utilizada e da presença ou ausência dos patógenos.

## 6. REFERENCIA

ADEKIYA, A. O.; AGBEDE, T. M. Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, p. 383-388, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.006>

AGBEDE, T. M. Poultry manure improves soil properties and grain mineral composition, maize productivity and economic profitability. **Scientific Reports**, v. 15, p. 16501, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00394-8>

AGBEDE, T. M.; OYEWUMI, A. The role of biochar, poultry manure, and biochar-poultry manure in improving leaf nutrient concentrations, root storage minerals, growth, and yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Scientific Reports in Life Sciences**, v. 3, n 3, p. 48-68, 2022. <https://doi.org/10.3390/10.5281/zenodo.7080269>

AHSAN, S. M.; INJAMUM-UL-HOQUE, M.; DAS, A. K.; RAHMAN, M. M.; MOLLAH, M. M. I.; PAUL, N. C.; CHOI, H. W. Plant–Entomopathogenic fungi interaction: recent progress and future prospects on endophytism-mediated growth promotion and biocontrol. **Plants**, v. 13, n. 10, p. 1420, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13101420>

AKANMU, A. O.; BABALOLA, O. O.; VENTURI, V.; AYILARA, M. S.; ADELEKE, B. S.; AMOO, A. E.; GLICK, B. R. Plant disease management:

leveraging on the plant-microbe-soil interface in the biorational use of organic amendments. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 700507, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700507>

ALFIKY, Alsayed; WEISSKOPF, Laure. Deciphering Trichoderma–plant–pathogen interactions for better development of biocontrol applications. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 1, p. 61, 2021.

ASGHAR, W.; KATAOKA, R. Co-application of green manure and trichoderma spp. induced plant growth promotion by nutrient improvement and increased fungal biomass in soil. **Agricultural Research**, v. 13, n. 4, p. 779-788, 2024. <https://doi.org/10.1007/s40003-024-00732-8>

BADER, A. N.; SALERNO, G. L.; COVACEVICH, F.; CONSOLO, V. F. Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of King Saud University-Science**, v. 32, n. 1, p. 867-873, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.002>

BADR, M. M.; QUIROZ, I. V. Antimicrobial effect of natural products against bacteria, fungi, and yeasts. In: **Biotechnology and Drug Development for Targeting Human Diseases**. Bentham Science Publishers, p. 137-164, 2024. <https://doi.org/10.2174/97898152231631240901>

BAHADUR, A. Current status of *Fusarium* and their management strategies. In *Fusarium-an overview of the genus*. **IntechOpen**, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100608>

BAMISILE, B. S.; AKUSTE, K. S.; SIDDIQUI, J. A.; XU, Y. Model Application of Entomopathogenic Fungi as Alternatives to Chemical Pesticides: Prospects, Challenges, and Insights for Next-Generation Sustainable Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.741804>

BANDYOPADHYAY, R.; MWANGI, M.; AIGBE, S. O.; LESLIE, J. F. *Fusarium* species from the cassava root rot complex in West Africa. **Phytopathology**, v. 96, n. 6, p. 673-676, 2006. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0673>.

BANI, M.; PÉREZ-DE-LUQUE, A.; RUBIALES, D.; RISPAIL, N. Physical and Chemical Barriers in Root Tissues Contribute to Quantitative Resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. pisi in Pea. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00199>

BERNARDES, F.S.; PATRÍCIO, F.R.A.; SANTOS, A.S.; FREITAS, S.S. Indução de resistência sistêmica por rizobactérias em cultivos hidropônicos. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 2, p. 115-121, 2010.

BIRATU, G. K.; ELIAS, E.; NTAWURUHUNGA, P.; NHAMO, N. Effect of Chicken Manure Application on Cassava Biomass and Root Yields in Two

Agro-Ecologies of Zambia. **Agriculture**, v. 8, n. 4, p. 45, 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture8040045>

BONONI, L.; CHIARAMONTE, J. B.; PANSA, C. C.; MOITINHO, M. A.; MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. **Scientific Reports**, v. 10, n. 2858, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>.

BRITO, A. C. Q.; DE MELLO, J. F.; CÂMARA, M. P. S.; VIEIRA, J. C. B.; MICHEREFF, S. J.; SOUZA-MOTTA, C. M.; MACHADO, A. R. Diversity and pathogenicity of Botryosphaeriaceae species associated with black root rot and stem cutting dry rot in *Manihot esculenta* in Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 157, n. 3, p. 583-598, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02024-7>

BROTMAN, Y., LANDAU, U., CUADROS-INOSTROZA, A., TAKAYUKI, T., FERNIE, AR, CHET, I., WILLMITZER, L. Trichoderma-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. **PLoS pathogens** , v. 9, n. 3, p, e1003221, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003221>

BULLOR, L.; BRAUDE, H.; MONZÓN, J.; COTES PRADO, A. M.; CASAVOLA, V.; CARBAJAL, M. N.; RISPOULOS, J. Bioinputs: investment opportunities in Latin America. **Food & Agriculture Org**, n. 9, 2024. <https://doi.org/10.4060/cc9060en>.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; DEL VAL, E.; LARSEN, J. Funções ecológicas de *Trichoderma* spp. e seus metabólitos secundários na rizosfera: interações com plantas. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92 , 2016. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw036>

FERREIRA, R.B.; RODRIGUES. A.A.C.; MORAES, F.H.; CANDIDO E SILVA, E. K.; NASCIMENTO, I.O. Resíduos orgânicos en el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. passiflorae en maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). **Acta Biológica Caulembiana**, v. 20, p. 111-120, 2015. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n3.44720>.

COLLA, G , Y. ROUPHAEL , ED MATTIA , C. EL-NAKHEL , M. Cardarell A co-inoculação de *Glomus intraradices* e *Trichoderma atroviride* atua como um bioestimulante para promover o crescimento, o rendimento e a absorção de nutrientes de vegetaisJ. **Sci. Food Agric.** , v. 95, n. 8 p. 1706 - 171, 2015.

GENG, Y.; CHEN, S.; LV, P.; LI, Y.; LI, J.; JIANG, F., ... & ZHOU, R. Positive Role of *Trichoderma harzianum* in Increasing Plant Tolerance to Abiotic Stresses: A Review. **Antioxidants**, v. 14, n. 7, p. 807, 2025. <https://doi.org/10.3390/antiox14070807>

GUZMÁN-GUZMÁN, P.; PORRAS-TRONCOSO, M. D.; OLMEDO-MONFIL, V.; HERRERA-ESTRELLA, A. *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. **Phytopathology**, v. 109, n. 1, 6-16, 2019. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07->

18-0218-RVW

HERRERA, W.; VALBUENA, O.; PAVONE-MANISCALCO, D. — Formulation of *Trichoderma asperellum* TV190 for biological control of *Rhizoctonia solani* on corn seedlings. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, 2020.

HOWELER, R.H. **Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia**; The International Center for Tropical Agriculture (CIAT): Cali, Colombia, n. 389, 180 p., 2014.

ILLESCAS, M., PEDRERO-MÉNDEZ, A., PITORINI-BOVOLINI, M., HERMOSA, R., & MONTE, E. Phytohormone Production Profiles in *Trichoderma* Species and Their Relationship to Wheat Plant Responses to Water Stress. *Pathogens*, v. 10, n. 8 p. 991. 2021. <https://doi.org/10.3390/pathogens10080991>

KOWSARI, M.; ZAMANI, M.; MOTALLEBI, M. Verexpression of chimeric chitinase 42 enhanced antifungal activity of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium graminearum*., **Mycaulegia Iranica**, v. 3, n. 1, p.15-23, 2016. <https://doi.org/10.22043/mi.2017.44841.1074>

KUMARI, R.; KUMAR, V.; ARUKHA, A. P.; RABBEE, M. F.; AMEEN, F.; KOUL, B. Screening of the Biocontrol Efficacy of Potent *Trichoderma* Strains against *Fusarium oxysporum* f.sp. ciceri and *Scelrotium rolfsii* Causing Wilt and Collar Rot in Chickpea. **Microorganismos**, v. 12, n. 7, p. 1280, 2024. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12071280>

LANNA, N. D. B. L.; BARDIVIESSO, E. M.; TAVARES, A. E. B.; SILVA, P. N. D. L.; NAKADA-FREITAS, P. G.; NODA, S. B. H.; CARDOSO, A. I. I. Castor bean cake in top-dressing application as a source of nitrogen on the production and quality of zucchini organic seeds. **Bioscience Journal** , v. 36, p. 130-142, 2020. <http://dx.doi.org/BJ-v36n0a2020-53563>

LARRAN, S.; MARÍA ROSA SIMÓN, MARÍA PILAR SANTAMARINA, JOSEFA ROSELLÓ CASELLES, VERÓNICA FABIANA CONSOLO, ANALÍA PERELLÓ, ENDOPHYTIC *Trichoderma* strains increase soya bean growth and promote charcoal rot control, **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, n.22, Issue 7, 2023, Pages 395-406, ISSN 1658-077X, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.03.005>.

LI, W.; GE, X.; WANG, W.; HU, Y.; MO, Y.; XIE, J. Identification of defense-related genes in banana roots infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4. **Euphytica**, v. 205, n. 3, p. 837-849, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1418-z>

LI, W.; WANG, X.; JIANG, Y.; CUI, S.; HU, J.; WEI, Y.; ... WU, Y. Volatile organic compounds produced by co-culture of *Burkholderia vietnamiensis* B418 with *Trichoderma harzianum* T11-W exhibits improved antagonistic activities against fungal phytopathogens. **International Journal of Molecular**

**Sciences**, v. 25, n. 20, 11097, 2024. <https://doi.org/10.3390/ijms252011097>

LIMA, G. S.; ROCHA, L. S.; SANTOS-FILHO, H. P.; MICHEREFF, S. J.; LARANJEIRA, F.F. Modeling the spread of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* in simulated physical microenvironment. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, p. 282-293, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00425-5>

LIMA, R. L. S. L.; SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. S.; JERÔNIMO, J. F.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 474 - 479, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000300013>

LINS, L. C. R.; FRANCELLI, M.; RITZINGER, C. H. S. P.; COELHO FILHO, M. A.; LEDO, C. A. S. Torta de mamona no controle da broca-do-rizoma (*Cosmopolites sordidus*) em bananeira-Terra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200019>

MACHADO, A. R.; BRITO, A. C.; MELO, J. F. Podridão de raízes tuberosas no Nordeste do Brasil: etiologia e manejo. In: LOPES, UP; MICHEREFF, S. J. **Desafios no Manejo de Doenças Fúngicas de Raízes**. Recife: Ed. Ufrpe, p. 95, 2018.

MACHADO, A. R.; PINHO, D. B.; OLIVEIRA, S. A.; PEREIRA, O. L. New occurrences of Botryosphaeriaceae causing black root rot of cassava in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 39, p. 464-470, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000600008>

MACÍAS-RODRÍGUEZ, Lourdes et al. The interactions of *Trichoderma* at multiple trophic levels: Inter-kingdom communication. **Microbiological Research**, v. 240, p. 126552, 2020.

MANZAR, N.; SINGH, Y.; KASHYAP, A. S. et al.; Biocontrol potential of native *Trichoderma* spp. against anthracnose of great millet (*Sorghum bicolor* L.), *Biological Control*, v 152, 2021. 104474, ISSN 1049-9644, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104474>.

MARTINS, A. N.; SUGUINO, E.; DIAS, N. M. S.; PERDONÁ, M. J. Adição de torta de mamona em substratos na aclimação de mudas micropropagadas de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 33, n. 1, p. 198-207, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000036>

MEHETRE, S .T.; MUKHERJEE, P. K. *Trichoderma* Improves Nutrient Use Efficiency in Crop Plants. In: Rakshit, A., Singh, H.B., Sen, A. (eds) **Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances**. p. 173-180, 2014. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2169-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2169-2_11),

MELO, N.J.A.; NEGREIROS, A.M.P.; MEDEIROS, H.L.S.; SALES JÚNIOR, R.

Evaluation of *Fusarium* wilt disease in passion fruit species inoculated with *Fusarium oxysporum* f.sp. *passiflorae*. **Journal of Phytopathology**, v. 168, n. 2, p. 81-87, 2020. <https://doi.org/10.1111/jph.12871>

MERUMBA, M.; SEMOKA, J. M.; SEMU, E.; MSANYA, B. M.; KIBURA, J. K. Effect of tillage methods, farmyard manure and potassium rates on some soil chemical properties and nutrient contents in cassava in Kagera, Tanzania. **Journal of Agriculture and Ecology Research International**, v. 24, n. 1, p. 1-15, 2023. <https://doi.org/10.9734/JAERI/2023/v24i1515>

MINGJJING, L.; XUEMEI, H.; RUI, L.; CHUNHUA, Z.; RUIMEI, H.; GUIBIN, X.; GUORUI, L.; JIANJUN, D.; CHENG, W.; XIAHUI, G.; ZHIMIN, S.; RUXIN, L.; YONG, Z.; FENGLAN, H. By promoting growth and development, castor bean meal biofertilizer improves the yield and quality of Tartary buckwheat and indirectly improves the growth and development of Tartary buckwheat sprouts. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1584608>

MORAN-DIEZ, M. E.; MARTINEZ DE ALBA, A. E.; RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; MONTE, E. *Trichoderma* and the plant heritable priming responses. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 4, p. 318, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7040318>

N.P. MCNAMARA, H.I.J. BLACK, N.A. BERESFORD, N.R. PAREKH, Effects of acute gamma irradiation on chemical, physical and biological properties of soils, **Applied Soil Ecology**, v. 24, n. 2, 2003, p. 117-132, ISSN 0929-1393. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(03\)00073-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(03)00073-8)

NATTHAHARIT, P.; ANUSONTPORNPORN, S.; THANACHIT, S.; PHUN-IAM, M. 2024. "Cumulative effect of perlite and chicken manure on NPK fertilization for cassava planted in Arenic Haplustult soil: Case study of continuous application for 8 yr". **Agriculture and Natural Resources**, v. 58, n. 2, p. 239-256 2024.. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/263174>.

OLANREWAJU, O.S.; GLICK, B.R.; BABALOLA, O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 11, p. 197, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>

PEJA, R. JR.; DUKA I. M.; BALENDRES, M. A. *Neoscytalidium dimidiatum*, *Neoscytalidium dimidiatum*, a plant killer: a review. **Studies in Fungi**, v. 10, n. e011, 2025. <https://doi.org/10.48130/sif-0025-0011>

PIRES, R.A.; JESUS, O.N.; LIMA, L.K.S.; SILVA, L.N.; LARANJEIRA, F.F. *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* isolates display variable virulence in *Passiflora edulis* Sims seedlings. **European Journal of Plant Pathology**, v. 162, p. 465-476, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02417-2>

PLOETZ, R.C. *Fusarium* Wilt of Banana. **Phytopathology**, v. 105, p. 1512-

1521, 2015. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW>

PORTAL, N.; SOLER, A.; ALPHONSINE, P.A.M.; BORRAS HIDALGO, O.; PORTIELES, R.; PEÑARODRIGUEZ, L.M.; WALTON, J.D. Nonspecific toxins as components of a host specific culture filtrate from *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 1. **Plant Pathology**, v. 67, n. 2, p.467-476, 2018. <https://doi.org/10.1111/ppa.12736>

QUEVEDO, A. C.; MUNIZ, M. F. B.; SARZI, J. S.; KRAHN, J. R. T.; SAVIAN, L. G.; TABALDI, L. A.; SILVA, J. C. P. Biocontrol of *Fusarium* spp. root rot in yerba mate (*Ilex paraguariensis*) by native rhizospheric *Trichoderma* spp. **BioControl**, v. 69, n. 6, p. 647-660, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10526-024-10271-4>

RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, E. S.; TORRES-TORRES, E.; GUIGÓN-LÓPEZ, C.; ALVARADO-GONZÁLEZ, M. *Trichoderma* Roles in Sustainable Agriculture. In **Sustainable Engineering and Agro-Food Processing**, p. 147-187. Apple Academic Press, 2025.

SANGPUEAK, R.; DUCHANCE, S.; SAENGCHAN, C.; PAPATHOTI, N. K.; HOANG, N. H.; THANH, T. L.; PHANSAK, P.; BUENSANTEAI, N. Identification of cassava black stem and root rot agents in Thailand. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 83, n. 1, 2023. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392023000100070>

SANTOYO, G.; OROZCO-MOSQUEDA, M. D. C.; AFRIDI, M. S.; MITRA, D.; VALENCIA-CANTERO, E.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L. *Trichoderma* and *Bacillus* multifunctional allies for plant growth and health in saline soils: recent advances and future challenges. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1423980, 2024. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1423980>

SENGER, M.; URREA-VALENCIA, S.; NAZARI, M. T.; VEY, R. T.; PICCIN, J. S.; MARTIN, T. N. Evaluation of *Trichoderma asperelloides*-based inoculant as growth promoter of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): a field-scale study in Brazil. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 26, p. 255–263, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12892-022-00177-x>

SILVA, J. S. A.; MEDEIROS, E. V.; COSTA, D. P.; SOUZA, A. A. F.; OLIVEIRA, J. B.; FRANÇA, R. F.; SOUZA-MOTTA, C. M.; LIMA, J. R. S.; HAMMECKER, C. Biochar and *Trichoderma aureoviride* URM 5158 as alternatives for the management of cassava root rot. **Applied Soil Ecology**, v. 172, p. 104353, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104353>

SILVA, J. S. A.; SILVA SANTOS, A. C.; SOUZA, C. A. F.; COSTA, D. P.; QUEIROZ BRITO, A. C.; NASCIMENTO BARBOSA, R.; MEDREIROS, D. P. C.; MACHADO, R. A.; SOUZA-MOTTA, C. M. First reports of *Fusarium agrestense*, *F. gossypinum*, *F. grosnichellii* and *F. triseptatum* causing cassava root rot in Pernambuco, Brazil. **Crop Protection**, v. 187, 106947, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106947>

SILVA, J. S. A.; SILVA SANTOS, A. C.; SOUZA, C. A. F.; COSTA, D. P.; QUEIROZ BRITO, A. C.; NASCIMENTO BARBOSA, R., ... & DE SOUZA-MOTTA, C. M. First reports of *Fusarium agrestense*, *F. gossypinum*, *F. grosnichellii* and *F. triseptatum* causing cassava root rot in Pernambuco, Brazil. **Crop Protection**, v. 187, p. 106947, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106947>

SILVA, S. D.; PRESOTTO, R. A.; MAROTA, H. B.; ZONTA, E. Uso de torta de mamona como fertilizante orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 1, p. 19-27, 2012.

SINGH, S.; SINGH, A. K.; PRADHAN, B.; TRIPATHI, S.; KUMAR, K. S.; CHAND, S., ... & SHAHID, M. K. Harnessing *Trichoderma mycoparasitism* as a tool in the management of soil dwelling plant pathogens. **Microbial Ecology**, v. 87, n. 1, p. 158, 2024.

SINGH, R. P.; SINGH, A. K.; PRADHAN, B. Plant growth-promoting rhizobacteria: Mechanisms and role in crop productivity. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 857197, 2022.

SINGH, S.; SINGH, A. K.; PRADHAN, B.; TRIPATHI, S.; KUMAR, K. S.; CHAND, S., ... & SHAHID, M. K. Harnessing *Trichoderma mycoparasitism* as a tool in the management of soil dwelling plant pathogens. **Microbial Ecology**, v. 87, n. 1, p. 158, 2024.

SOUSA, M. C. P.; DIAMANTINO, M. S. A. S.; HOHENFELD, C. S.; VIDAL, C. B. M.; OLIVEIRA, S. A. S. Effect of cover crops on the suppressiveness of root rot and on the agronomic performance of cassava. **European Journal of Plant Pathology**, p. 1-19, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02925-x>.

THAKKER, J.N.; PATEL, S.; DHANDHUKIA, P.C. Induction of Defense-Related Enzymes in Banana Plants: Effect of Live and Dead Pathogenic Strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. Cubense. **ISRN Biotechnology**, v.13, p.6, 2013.

THEPBANDIT, W.; PAPATHOTI, N. K.; HOANG, N. H.; SIRIWONG, S.; SANGPUEAK, R.; SAENGCHAN, C.; LAEMCHIAB, K.; KIDDEEJUNG, D.; TYŚKIEWICZ, Renata et al. *Trichoderma*: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 4, p. 2329, 2022.

VICHARE, S. A.; MORYA, S. Exploring waste utilization potential: Nutritional, functional and medicinal properties of oilseed cakes. **Frontiers in Food Science and Technology**, v. 4, p. 1441029, 2024. <https://doi.org/10.3389/FRFST.2024.1441029>

WANG, L.; LI, JIYIN; YOU, YEMING; ZHANG, WEN; WANG, YI; LIANG, YUYING; HUANG, HAIMEI; MA, HAILUN; HE, QINXIA; MING, ANGANG; AND HUANG, XUEMAN. Mixed plantations with nitrogen-fixing trees enhance

microbial diversity and nutrient cycling in soils. **Biogeosciences**, v. 22, n. 18, p. 4221-4239, 2025. <https://doi.org/10.5194/bg-22-4221-2025>

XIANG, D., SONG, Y., WU, Q., MA, C., ZHAO, J., WAN, Y.; ZHAO, G. Relationship between stem characteristics and lodging resistance of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*). **Plant Production Science**, v. 22, p. 202–210, 2019. <https://doi.org/10.1080/1343943x.2019.1577143>

YANG, J.; LIU, X.; RONG, X.; Bio-organic fertilizer application improves cucumber growth, disease resistance, and soil fertility by regulating rhizosphere microbiomes. **Plant Soil** (2025). <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07460-0>

ZHANG, X.; ZHAO, Y.; SUN, L.; WANG, Y.; ZHANG, Z. et al. Physiological and molecular mechanisms of phosphate-solubilizing microorganisms: A review. **Plants**, v. 13, n. 19, p. 2686, 2024.

## **CAPÍTULO 3**

**Controle de doenças radiculares da mandioca: O potencial das coberturas verdes e do *Trichoderma asperellum***

## **Controle de doenças radiculares da mandioca: O potencial das coberturas verdes e do *Trichoderma asperellum***

**RESUMO:** A introdução de plantas para adubação verde pode promover maior disponibilidade de nutrientes às culturas, além de potencializar o efeito supressivo sobre patógenos que acometem as mudas. Atrelado a isso, utilização de fungos antagonistas têm se mostrado como uma estratégia eficaz no manejo de doenças radiculares, reduzindo a incidência de fitopatógenos e promovendo o crescimento saudável das mudas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de fontes de adubação verde associadas à aplicação do *Trichoderma asperellum* sobre o crescimento de mudas nos genótipos BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte. Os genótipos da mandioca foram submetidas a adubação verde, com plantas de feijão caupi e amendoim comum, aplicação de *T. asperellum*, e inoculação com isolados patogênicos causadores de podridão radicular. Avaliou-se o vigor, altura, massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca de raiz, colonização externa e interna das manivas. O biocontrole associado à adubação verde promoveu incrementos no vigor, na biomassa aérea e no desenvolvimento radicular das mudas dos genótipos de BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte. A inoculação dos patógenos reduziu o crescimento das plantas; contudo, seus efeitos foram atenuados pelo manejo integrado. Recomenda-se a adoção do manejo integrado com *Trichoderma asperellum* e adubação verde na produção de mudas de mandioca, observando-se a adequação do momento de aplicação do agente de biocontrole para maximizar sua eficiência.

**Palavras chave:** Agentes de biocontrole, Mandioca, Patógenos de solo, Podridão de raízes

## **Root Disease Control in Cassava: The Potential of Green Cover Crops and *Trichoderma asperellum***

**ABSTRACT:** The introduction of green manure plants can enhance nutrient availability to crops and strengthen soil suppressiveness against pathogens affecting seedlings. In addition, the use of antagonistic fungi has proven to be an effective strategy for managing root diseases, reducing the incidence of soilborne pathogens and promoting healthy seedling growth. The objective of this study was to evaluate the effect of green manure sources associated with inoculation of *Trichoderma asperellum* on root diseases of the cassava genotypes BRS Poti Branca and BRS Novo Horizonte. The cassava genotypes were subjected to green manure using cowpea and common peanut plants, application of *T. asperellum*, and inoculation with pathogenic isolates causing root rot. Seedling vigor, height, fresh and dry shoot mass, fresh and dry root mass, and external and internal colonization of the stakes were evaluated. The biocontrol combined with green manure promoted increases in vigor, shoot biomass, and root development in both genotypes. Pathogen inoculation reduced plant growth; however, its effects were mitigated by the integrated management strategy. The adoption of integrated management using *Trichoderma asperellum* and green manure is recommended for cassava seedling production, with attention to the optimal timing of biocontrol application to maximize its effectiveness.

**Keywords:** Biocontrol agents, Cassava, Soilborne pathogens, Root rot.

## 1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma cultura de grande importância econômica e social em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo, sendo uma fonte fundamental de carboidratos. No entanto, o cultivo de mandioca é frequentemente ameaçado por doenças radiculares causadas por fungos fitopatogênicos, como *Lasiodiplodia*, *Neositalidium* e *Fusarium* (SANGPUEAK et al., 2023; SILVA et al., 2024; SILVA et al., 2025). Esses patógenos podem causar perdas significativas na produtividade, prejudicando o desenvolvimento das plantas e diminuindo a qualidade das raízes.

Diante desse cenário e da crescente preocupação com a qualidade das culturas, se faz necessário a adoção de estratégias eficazes e alternativas ao uso de produtos químicos industriais que visam mitigar os prejuízos causados por fungos de solo, como o uso do biocontrole com o fungo *Trichoderma* spp., que tem ganhado destaque, devido à sua capacidade de competir por espaço e nutrientes, além de produzir compostos que inibem o crescimento de patógenos, como a enzima quitinase degradante da parede celular de fitopatógenos (KOWSARI et al., 2016; GUZMÁN-GUZMÁN et al., 2023; SALDAÑA-MENDOZA et al., 2023). Em estudo realizado por Islam et al. (2023) a aplicação de *Trichoderma* spp., atuou com biostimulantes na melhoria da fertilidade do solo e aumentou a produtividade de trigo.

Associado a isso, a adubação verde, uma prática sustentável que utiliza plantas de cobertura, tem sido explorada como uma ferramenta eficaz para beneficiar a atividade do *Trichoderma* no solo. A co-aplicação de ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) com *Trichoderma* RW309, favoreceu positivamente a atividade enzimática do solo, a biomassa fúngica e a adubação com *Brassica juncea* com *Trichoderma* RW309 promoveu o crescimento vegetal de *Brassica rapa* através disponibilidade de nutrientes para absorção das plantas (ASGHAR; KATAOKA, 2024).

Nesse sentido, a incorporação de adubo verde e resíduos pós-colheita é considerada uma das práticas agrícolas mais eficazes e econômicas para melhorar a fertilidade do solo, a produtividade das culturas e aumentar a matéria orgânica do solo (SHARMA et al., 2017; ZHANG et al., 2017). Além

de fornecer nutrientes para as plantas, a adubação verde melhora as propriedades físicas do solo, como porosidade e capacidade de infiltração de água, e, a longo prazo, contribui para a melhoria qualidade do solo e rendimento das culturas (SMITH et al. 1992; LI et al., 2015). A incorporação de diferentes tipos de adubo verde, como soja (*Glycine max* L.) e ervilhaca-de-leite chinesa (*Astragalus sinicus* L.), resultou em benefícios potenciais para o rendimento das colheitas, reduziu doenças de plantas e insetos pragas e estimulou as atividades microbiológicas do solo em campos agrícolas (LI et al., 2015; YANG et al., 2019).

A adubação verde não apenas favorece a nutrição das plantas, mas também cria um ambiente propício para a proliferação do *Trichoderma* ssp (ASGAR E KATAOKA, 2024) e contribui no controle de doença. Em estudo realizado por Sousa et al. (2024) verificaram o efeito de plantas de cobertura (crotalária, aveia preta, feijão-de-porco, milho, amendoim e feijão caupi) na supressão da podridão radicular e no desempenho agrônômico da mandioca 'BRS Kiriris' e 'BRS Formosa' em solos infestados com DRR (*Fusarium oxysporum*, *F. equiseti*, *F. verticillioides*, *F. solani*, *F. lateritium*, *F. chlamydosporum*) e BRR (*Lasiodiplodia theobromae*, *Neoscytalidium dimidiatum*).

Contudo, uma questão relevante consiste em determinar se as condições proporcionadas pela adubação verde, ao favorecerem o estabelecimento e o desenvolvimento de isolados de *Trichoderma asperellum*., também poderiam beneficiar simultaneamente os patógenos presentes no solo. Assim, a hipótese deste estudo é que a incorporação de adubos verdes ao solo cria um ambiente mais favorável ao crescimento e à atividade de *Trichoderma asperellum*, aumentando sua eficiência de biocontrole e, conseqüentemente, sua capacidade de suprimir fungos fitopatogênicos associados às doenças radiculares da mandioca. O objetivo deste trabalho é avaliar o crescimento de mudas de mandioca cultivadas com adubação verde (utilizando feijão caupi e amendoim comum), combinada com a inoculação de *Trichoderma asperellum* em solo artificialmente infestado por fungos patogênicos dos gêneros *Lasiodiplodia*, *Neoscytalidium* e *Fusarium*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Ensaio experimental

Na Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas - BA (12°40'39"S, 39°06'23", 226 m de altitude), foram instalados dois ensaios experimentais de forma consecutiva.

No primeiro ensaio se utilizou o genótipo BRS Poti Branca, e no segundo o genótipo BRS Novo Horizonte. As hastes coletadas para o cultivo de ambos os genótipos foram coletadas no campo experimental da Embrapa.

O substrato de cultivo utilizado em ambos os ensaios (I e II) foi solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico (LAd), coletado em trincheira localizada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA, na camada de 0,20 m de profundidade. As características químicas foram apresentadas conforme o seguinte resultado: pH (H<sub>2</sub>O): 5,6; P: 3 mg dm<sup>-3</sup>; K: 0,07 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca: 1,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 0,72 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; (H+Al): 1,58 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al: 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Na: 0,03; cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>; SB: 1,98 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC: 3,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V: 56%; M.O: 8,0 g Kg<sup>-1</sup>.

Como fontes de adubação verde foram utilizadas plantas leguminosas, sendo o feijão caupi e o amendoim comum. As sementes de ambas as culturas foram adquiridas no comércio local da cidade de Cruz das Almas - BA, oriundas de agricultores familiar. Essas duas plantas foram avaliadas em trabalho anterior e promoveram maior controle da podridão radicular da mandioca (SOUSA et al., 2024).

Para os dois ensaios experimentais, adotou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial triplo 3 × 2 × 2, constituído por: (i) três fontes de adubação verde (feijão caupi, amendoim comum, ausência de adubação); (ii) mix de agentes de biocontrole [*Trichoderma asperellum* (CMF 1006 e CMF 1007)] (presença e ausência); e (iii) mix de patógenos [*Fusarium solani* (A4.1), *Fusarium oxysporum* (A11.2), *Lasiodiplodia* ssp. (36-SE), e *Neoscytalidium dimidiatum* (CBPPR1011)] (presença e ausência). O experimento foi estruturado com quatro blocos, contendo três unidades experimentais por bloco para cada combinação

fatorial, totalizando 144 parcelas experimentais em cada ensaio.

Para a instalação de cada ensaio experimental, realizou-se inicialmente a infestação do solo com o mix de patógenos. Para isso, foram adicionados 100 g do inóculo, contendo concentração de  $10^6$  UFC  $g^{-1}$ , aos vasos de 8 L de polietileno previamente preenchidos com solo. O inóculo foi incorporado na camada de aproximadamente 5 cm abaixo da superfície do solo, garantindo distribuição uniforme no interior de cada unidade experimental. O procedimento realizado para a preparação do inóculo está descrita no tópico 2.2.

Após 15 dias da infestação do solo, realizou-se o plantio das espécies utilizadas como fontes de adubação verde. Para isso, foram semeadas quatro sementes de feijão-caupi e quatro sementes de amendoim comum em cada vaso, separadamente, de acordo aos respectivos tratamentos. Aos 45 dias após o plantio, a parte aérea das plantas utilizadas como adubação verde foi cortada com auxílio de uma tesoura de poda. Em seguida, foram separados e pesados 10 g de massa fresca de cada espécie, que posteriormente foram incorporados ao solo, até a profundidade de 10 cm, em vasos individuais com capacidade de 8 L.

Após a etapa de incorporação dos adubos verdes, procedeu-se à inoculação dos agentes de biocontrole, realizada 15 dias depois, permitindo o início da decomposição do material vegetal e a consequente ativação microbiana no solo antes da aplicação do mix de *Trichoderma asperellum*. Para a aplicação, utilizou-se 166 g de cada inóculo  $10^6$  UFC  $g^{-1}$  crescido em arroz para 10 L de água potável, sendo homogeneizada manualmente por cerca de 20 minutos. Com o auxílio de um Becker, verteu-se 100 mL da solução nos vasos de 8 L de acordo aos respectivos tratamentos. O procedimento realizado para a preparação do inóculo está descrita no tópico 2.2.

O plantio de BRS Poti Branca (Experimento I) e BRS Novo Horizonte (Experimento II) ocorreu aos sete dias após a inoculação dos agentes de biocontrole no solo. Se utilizou manivas-sementes de 8 cm, selecionando somente as que se apresentaram sadias. Não houve desinfestação ou tratamento das manivas-sementes antes do plantio. As manivas-sementes foram plantadas em posição vertical, deixando entre dois a três olhos abaixo

da superfície do solo, e dois acima.

Aos 50 dias após o plantio dos genótipos de mandioca, as seguintes variáveis foram avaliadas: vigor por escala de classificação, sendo: [1: (baixo vigor); (2): vigor intermediário; e (3): alto vigor] (SANTIAGO et al., 2018). A altura das plantas (ALT) foi mensurada com auxílio de régua graduada. A massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) foram determinadas mediante pesagem em balança analítica. Os sintomas de colonização interna e externa das manivas foram avaliados segundo a escala proposta por Santiago et al. (2018). Para a colonização externa, adotou-se: (0) ausência de colonização e (1) presença de colonização. Para a colonização interna, utilizou-se a seguinte classificação: (1) colonização inferior a 1/3 do tecido; (2) colonização entre 1/3 e 2/3 do tecido; e (3) colonização superior a 2/3 do tecido (SANTIAGO et al., 2018).

## **2.2 Fontes e preparação do inóculo dos fitopatógenos causadores das podridões radiculares na mandioca e agentes de biocontrole**

Os isolados fúngicos causadores das podridões radiculares da cultura da mandioca, assim como os biocontroladores, foram adquiridos da micoteca do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Isolados patogênicos utilizados foram: para podridão seca, *Fusarium solani* (A4.1) e *Fusarium oxysporum* (A11.2); e para podridão negra, *Lasiodiplodia* sp. (36-SE) e *Neoscytalidium dimidiatum* (CBPPR1011). Como agentes de biocontrole utilizou-se o *Trichoderma asperellum* (CMF 1007) e *Trichoderma asperellum* (CMF 1006).

O método adotado para a preparação dos inóculos por fermentação foi descrito por Steffen e Maldaner (2019) os isolados de podridões e biocontrole foram repicados em placas de Petri com meio Batata-Dextrose-Ágar (BDA), e acondicionados em câmara de crescimento BOD em foto-período de 12 horas a 28° C, por doze e sete dias, respectivamente.

Após esse período, foi realizada a suspensão de esporos de cada isolado. Para esse processo verteu-se 10 mL de água estéril em cada placa de Petri com as respectivas colônias fúngicas, e com o auxílio de uma escova

de dente ocorreu a liberação dos conídios. Cada suspensão obtida foi filtrada em peneira de 45 mm em Becker. Todo o material utilizado foi previamente autoclavado.

Com o auxílio de uma seringa, 10 mL da suspensão obtida de cada isolado fúngico foram inoculados em sacos plásticos contendo 500 g de arroz. O arroz utilizado para a multiplicação de cada inóculo foi previamente hidratado em água corrente por 15 minutos, acondicionado em sacos plásticos apropriados e autoclavado a 120 °C por 25 minutos, sendo posteriormente deixado para resfriar à temperatura ambiente.

Após o período descrito foi preparada uma suspensão fúngica na proporção (1:10) de arroz parboilizado e água destilada, para posterior diluição seriada. Para a contagem de conídios aéreos se utilizou a câmara de Neubauer em microscópio óptico, aumento 40x. Uma alíquota de 100 µl foi adicionada em placas com meio BDA, mantidas em BOD a 25 °C, durante 48 horas. A quantificação de conídios aéreos viáveis ocorreu por meio da contagem das Unidades Formadoras de Colônia (UFC), onde se ajustou a concentração de cada inóculo para 10<sup>6</sup> UFC g<sup>-1</sup> de substrato.

### **2.3 Análise estatística**

Os dados obtidos para as variáveis vigor e colonização foram transformados pela escala de Macquine. Todos os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste de normalidade, e agrupados com base no teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade, por meio do programa estatístico R (R Development Core Team, 2023). As análises de variância foram realizadas utilizando o pacote Agricolae.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Resposta do genótipo BRS Poti Branca em função dos tratamentos**

O desdobramento da interação tripla foi significativo ( $p < 0,05$ ) para as variáveis: vigor, altura, massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de parte aérea (MSPA), massa fresca de raiz (MFR) e massa seca de raiz

(MSR). Em todos os tratamentos avaliados observou-se colonização externa e interna com valor igual a 1, não havendo variação entre as unidades experimentais. Dessa forma, a análise estatística para essas variáveis não foi realizada, uma vez que a ausência de variabilidade inviabiliza a aplicação de testes inferenciais.

Para o vigor das mudas, na condição da ausência da inoculação dos patógenos, não foram observadas diferenças significativas entre as fontes de adubação e o tratamento sem adubo, tanto na presença quanto na ausência do biocontrole. Entretanto, ao comparar cada tratamento individualmente, observa-se que a aplicação do agente de biocontrole conferiu maior vigor às plantas, independentemente da presença de adubação verde (Tabela 1), indicando efeito positivo direto do *Trichoderma* sobre o desenvolvimento inicial das mudas (MEHETRE; MUKHERJEE, 2015).

Na condição com aplicação do biocontrole e com inoculação dos patógenos, o feijão-caupi promoveu o maior vigor entre os tratamentos, apresentando desempenho 41% superior aos demais. Já na ausência do biocontrole, sob a mesma condição, o feijão-caupi e o tratamento sem adubação apresentaram valores semelhantes entre si, sendo ambos superiores ao amendoim comum, com incremento aproximado de 25%. Essas respostas indicam que o feijão-caupi potencializa a supressividade do solo, refletindo em mudas mais vigorosas em ambiente de alta densidade patogênica (Tabela 1).

Quanto à variável altura (Tabela 1), na condição de inoculação com patógenos, todos os tratamentos apresentaram redução no crescimento vertical das mudas quando comparados às suas respectivas versões sem a presença dos isolados patogênicos, independentemente da aplicação do agente de biocontrole. Sob ausência de patógenos, se observa que, tanto o feijão caupi quanto o amendoim promoveram maior acréscimo de altura das mudas quando não receberam a aplicação do biocontrole, sendo esse acréscimo de 12,4% e 23,51%, respectivamente, em relação as suas versões sem o biocontrole. Já no tratamento sem adubo, a maior altura de plantas foi observada com a aplicação do biocontrole, com acréscimo de 23% em relação a sua versão sem o biocontrole.

**Tabela 1.** Médias para as variáveis avaliadas em mudas do genótipo BRS Poti Branca, em resposta a aplicação do biocontrole (Mix de *Trichoderma asperellum*); inoculação dos patógenos (isolados de podridão radicular), e incorporação de fontes de adubação orgânica.

ALTURA (g planta <sup>-1</sup> )						
BIOCONTROLE						
PATOLOGIA	PRESEÇA			AUSÊNCIA		
	ADUBO					
	CAUPI	AMEND	SA	CAUPI	AMEND	SA
COM	17,82aB	17,41aB	16,87aB	14,75aB	16,52aB	18,00bB
SEM	32,15aA	25,70bA	26,55bA	36,72aA*	33,6aA*	20,45bA*
CV(%)	6,91					
VIGOR						
BIOCONTROLE						
PATOLOGIA	PRESEÇA			AUSÊNCIA		
	ADUBO					
	CAUPI	AMEND	SA	CAUPI	AMEND	SA
COM	99,99aA	74,99bA	58,33bB	99,99aA	74,99bA	91,66aA*
SEM	99,99aA*	99,99aA*	99,99aA*	74,99aB	83,33aA	83,33aB
CV(%)	15,72					
MFPA (g planta <sup>-1</sup> )						
BIOCONTROLE						
PATOLOGIA	PRESEÇA			AUSÊNCIA		
	ADUBO					
	CAUPI	AMEND	SA	CAUPI	AMEND	SA
COM	3,27aA*	3,37aA*	2,79bA*	1,36bA	1,89aA	1,49bA
SEM	3,37aA*	4,45aA*	1,96bB*	1,50aA	1,29aB	1,28aA
CV(%)	6,94					
MSPA (g planta <sup>-1</sup> )						
BIOCONTROLE						
PATOLOGIA	PRESEÇA			AUSÊNCIA		
	ADUBO					
	CAUPI	AMEND	SA	CAUPI	AMEND	SA
COM	1,67aA*	1,82aA*	1,71aA*	0,78bA	1,09aA	0,79bA

<b>SEM</b>	1,78aA*	1,79aA*	1,10bB	0,87aA	0,82aB	0,88aA
<b>CV(%)</b>	11,99					
<b>MFR (g planta<sup>-1</sup>)</b>						
<b>BIOCONTROLE</b>						
	<b>PRESEÇA</b>			<b>AUSÊNCIA</b>		
	<b>ADUBO</b>					
<b>PATOG</b>	<b>CAUPI</b>	<b>AMEND</b>	<b>SA</b>	<b>CAUPI</b>	<b>AMEND</b>	<b>SA</b>
<b>COM</b>	1,43aB*	1,45aB*	1,19bA*	0,56bB	0,69bA	0,84aA
<b>SEM</b>	1,69bA*	1,89aA*	0,69aB	0,76aA	0,75aA	0,64aB
<b>CV(%)</b>	9,98					
<b>MSR (g planta<sup>-1</sup>)</b>						
<b>BIOCONTROLE</b>						
	<b>PRESEÇA</b>			<b>AUSÊNCIA</b>		
	<b>ADUBO</b>					
<b>PATOG</b>	<b>CAUPI</b>	<b>AMEND</b>	<b>SA</b>	<b>CAUPI</b>	<b>AMEND</b>	<b>SA</b>
<b>COM</b>	0,95cB*	1,33aA*	1,07bA*	0,59cA	0,79bA	0,96aA
<b>SEM</b>	1,47aA*	1,40aA*	0,56bB	0,61aA	0,69aA	0,64aB
<b>CV(%)</b>	8,51					

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Letra minúscula compara (níveis de adubo dentro do mesmo nível de biocontrole e mesmo nível de patógeno), letra maiúscula compara (níveis de patógeno dentro mesmo do nível de adubo e mesmo nível de biocontrole), o símbolo (\*) compara (níveis de biocontrole dentro do mesmo nível de adubo e mesmo nível de patógeno). \*PATOG (PATÓGENO); CAUPI (FEIJÃO-CAUPI), AMEND (AMENDOIM), SA (SEM ADUBO).

Em relação à massa fresca de parte aérea (MFPA), observou-se diferença entre os tratamentos com adubação associada à aplicação do biocontrole em comparação ao tratamento sem adubo. Especificamente, a aplicação do biocontrole promoveu incremento de 55,95% na ausência de patógenos e de 11,9% na presença de patógenos.

Além disso, todos os tratamentos apresentaram médias de MFPA superiores com a aplicação do mix de *Trichoderma*, em relação às suas respectivas versões sem o biocontrole. Na ausência dos patógenos, esse incremento foi de 55,48% para o feijão caupi, 71% para o amendoim e de 34,7% para sem adubo. Na condição com a inoculação dos patógenos, o incremento observado foi equivalente a 58,40% para o feijão caupi, 40,9%

para o amendoim e de 46,6% para sem adubo.

Observou-se o mesmo padrão para a massa seca da parte aérea (MSPA), na qual a aplicação do biocontrole resultou em médias superiores em todos os tratamentos, em comparação à ausência do *Trichoderma*, independentemente da presença ou ausência de inoculação com patógenos, exceto para o tratamento sem adubo, na condição de sem inoculação dos patógenos (Tabela 1).

Na condição de inoculação com patógenos e aplicação do biocontrole, não houve diferença significativa entre as fontes de adubação e o tratamento sem adubo sobre o ganho de MSPA das mudas. Contudo, sob a condição de inoculação com patógenos e sem aplicação do biocontrole, houve diferença para o amendoim, com incremento de 27,5% em MSPA, em relação aos demais tratamentos (Tabela 1).

Quanto a MFR, as mudas que receberam a incorporação das fontes de adubação associadas a aplicação do biocontrole, sob patógenos, apresentaram médias superiores em relação ao tratamento sem adubo, sendo esse incremento de 16,7%. Enquanto que, sob as mesmas condições, mas ausência do biocontrole, o tratamento sem adubo apresentou a maior média, com acréscimo de 33,33% em MFR em relação aos demais tratamentos (Tabela 1).

Em relação a MSR (Tabela 1), todos os tratamentos que receberam aplicação do biocontrole, apresentaram médias superiores em comparação as suas versões sem o biocontrole, independente da inoculação com os patógenos de podridão, exceto o tratamento sem adubo, sob ausência de patógenos que apresentou médias semelhantes entre suas versões, com e sem o mix de *Trichoderma*.

Na presença de patógenos e sob aplicação do biocontrole, todos os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas entre si. O amendoim apresentou a maior média de MSR, com incrementos de 25,6% em relação ao feijão-caupi e de 19,54% em comparação ao tratamento sem adubação. Já na presença de patógenos e sem aplicação do biocontrole, o tratamento sem adubo que promoveu a maior média, com acréscimo de 38,54% em relação ao feijão caupi e de 17,7% em relação ao amendoim.

### 3.2 Resposta do genótipo BRS Novo Horizonte em função dos tratamentos

No desdobramento da interação tripla houve efeito ( $p < 0,01$ ) para a variável MSR. Para as demais variáveis, se observa efeito das interações duplas.

O maior incremento de MSR (Tabela 2), sob aplicação do biocontrole e inoculação de patógenos foi promovido pelo tratamento feijão caupi, com incremento de aproximadamente 56 %, em relação aos demais. Já na ausência dos patógeno mas sob aplicação de biocontrole, houve diferença para torta de mamona, que apresentou incremento de 33,8% em relação ao feijão caupi e de 66,11% em relação ao tratamento sem adubo.

Sob inoculação patogênica, a aplicação do biocontrole em associação com as adubações promoveram maior acúmulo de MSR das mudas, ao comparar os respectivos tratamentos na mesma condição de presença de patógenos mas sem o biocontrole.

**Tabela 2.** Médias para a variável massa seca de raiz MSR ( $\text{g planta}^{-1}$ ), em função da aplicação do biocontrole, inoculação de patógenos e incorporação de fontes de adubação orgânica, em mudas de mandioca (genótipo BRS Novo Horizonte).

MSR ( $\text{g planta}^{-1}$ )						
BIOCONTROLE						
PATOG	PRESENÇA			AUSÊNCIA		
	ADUBO			ADUBO		
	CAUPI	AMEND	SA	CAUPI	AMEND	SA
COM	0,89aB*	0,61bB*	0,39bB	0,57aA	0,28aB	0,21aA
SEM	1,80aA*	1,19bA	0,61cA*	0,67bA	0,98aA	0,22cA
CV(%)	25,63					

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Letra minúscula compara (níveis de adubo dentro do mesmo nível de biocontrole e mesmo nível de patógeno), letra maiúscula compara (níveis de patógeno dentro mesmo do nível de adubo e mesmo nível de biocontrole), o símbolo (\*) compara (níveis de biocontrole dentro do mesmo nível de adubo e mesmo nível de patógeno). \*PATOG (PATÓGENO); CAUPI (FEIJÃO-CAUPI), AMEND (AMENDOIM), SA (SEM ADUBO).

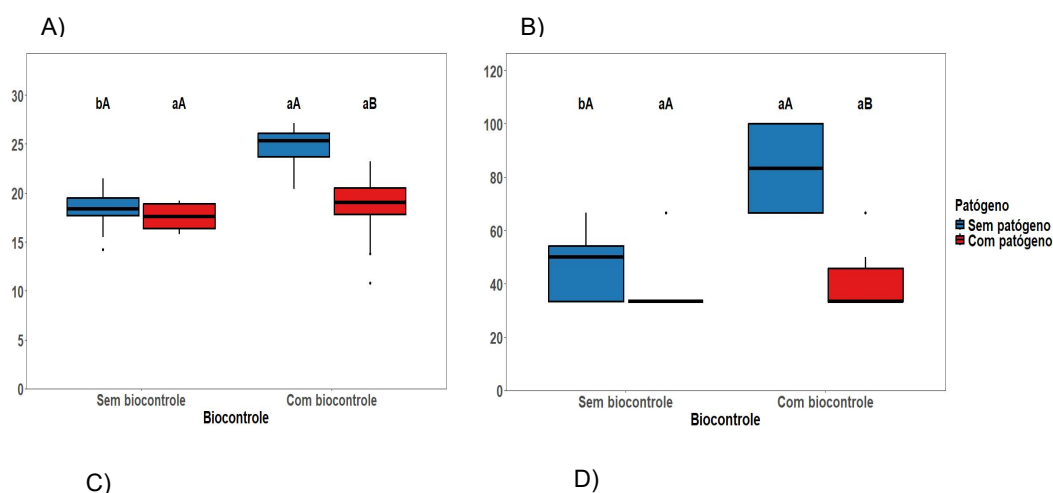
Efeito significativo da interação dupla entre biocontrole vs patógeno ( $p < 0,05$ ) foi observado para as variáveis: vigor, altura das mudas, massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca de raiz (MFR).

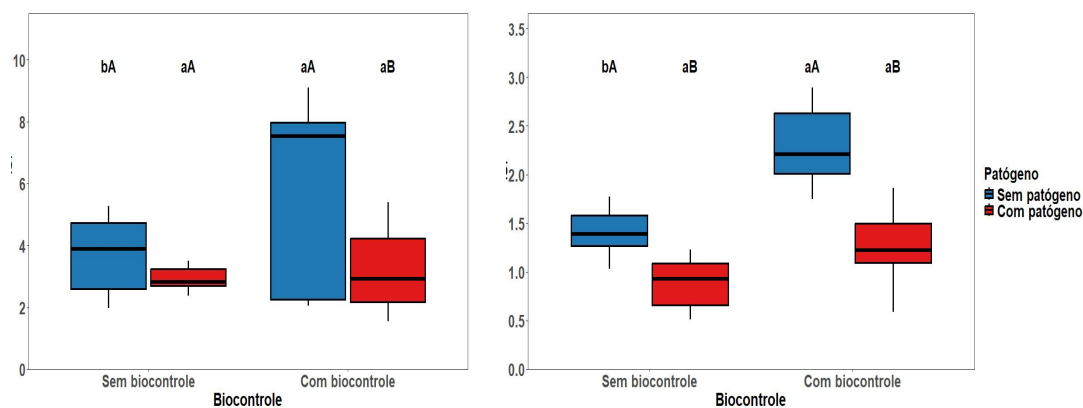
Na avaliação das respostas das mudas em função da interação dupla entre biocontrole vs patógenos, observou-se que as mudas que receberam aplicação com o agente de biocontrole, apresentaram desempenho superior. Houve incremento superior a 50,00% no vigor e de 29% na altura, em comparação aos demais tratamentos (Figura 1).

Quanto a MFPA, o tratamento (com biocontrole sem patógeno), promoveu incremento de 47,09% em relação ao tratamento (com biocontrole e com patógeno), e de 38,97% em relação ao tratamento sem biocontrole e sem patógeno. Para a MFR, o tratamento (com biocontrole sem patógeno) promoveu média superior aos demais tratamentos. Com incremento de 38,42% em relação ao tratamento (sem biocontrole com patógeno) (Figura 1).

Esses resultados apontam que o mix de *Trichoderma asperellum* atuou com mecanismos de promoção de crescimento sobre as mudas, elevando o vigor, altura, biomassa aérea e melhor desenvolvimento radicular (GUZMÁN-GUZMÁN et al., 2019; MEHETRE; MUKHERJEE, 2015). Contudo, se observa que não conseguiu promover uma resposta tão expressiva às mudas em presença dos isolados de podridão radicular.

**Figura 1.** Médias e gráfico de Boxplot em função da interação dupla entre aplicação com *Trichoderma asperellum* (sem e com) e inoculação com patógenos (sem e com), para as variáveis: A) altura (cm planta<sup>-1</sup>), B) vigor; C) massa fresca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (MFPA); e D) massa fresca de raiz (g planta<sup>-1</sup>)(MFR), em mudas de BRS Novo Horizonte.



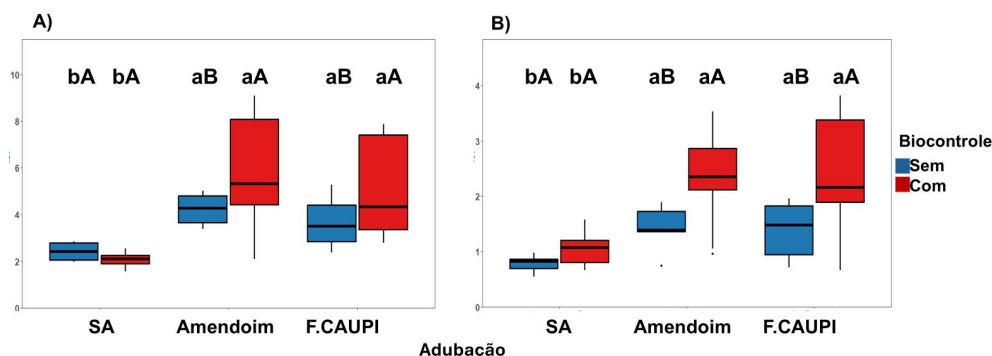


\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott264 Knott ( $p < 0,05$ ). Letra minúscula compara (níveis de biocontrole dentro dos mesmo nível de patógeno) e letra maiúscula compara (mesmo nível de biocontrole dentro dos níveis de patógeno).

Houve efeito da interação ( $p < 0,05$ ) dupla entre adubação vs biocontrole sobre a MFPA e MSPA. Para a MFPA, se observa diferença significativa para as fontes de adubação verde em relação ao tratamento sem adubo, com ganhos superiores a 59% em relação a (sem adubo com biocontrole), e de 42,89% em relação a (sem adubo sem biocontrole). Ao comparar o efeito do biocontrole dentro de cada fonte de adubação, se observa maior ganho de MFPA em aplicação do mix de *Trichoderma*, com incremento foi de 28,65% para o feijão caupi e de 26,86% para o amendoim, em relação a sem aplicação do biocontrole. Para o tratamento sem adubo, não houve diferença significativa entre a presença e a ausência do biocontrole (Figura 2).

Quanto à MSPA, observaram-se padrões semelhantes aos verificados para a MFPA. Houve ganhos de aproximadamente 54,4% para as fontes de adubação com biocontrole, em comparação ao tratamento sem adubo e com biocontrole, e de 43,47% para as fontes de adubação sem biocontrole, em relação ao tratamento sem adubo e sem biocontrole. De modo consistente, a aplicação do biocontrole potencializou o efeito das fontes de adubação, resultando em incrementos de 42,01% na MSPA para feijão-caupi e de 39,14% para amendoim, quando comparados aos respectivos tratamentos sem biocontrole. Para o tratamento sem adubação, não foram observadas diferenças significativas entre a presença e a ausência do biocontrole (Figura 2).

**Figura 2.** Médias e gráfico de Boxplot em função da interação entre biocontrole vs adubação verde, para as variáveis: A) massa fresca parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) (MFPA), e B) massa seca parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) (MSPA), de mudas de mandioca, genótipo BRS Novo Horizonte.



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas comparam as fontes de adubação dentro de cada nível de biocontrole, enquanto letras maiúsculas comparam os níveis de biocontrole dentro de cada adubação. As comparações foram realizadas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). \*SA: sem adubação; F.CAUPI: feijão caupi.

A interação entre adubação verde vs patógeno teve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre as variáveis: MFPA, MSPA, massa fresca da raiz (MFR) e colonização interna (COLINT).

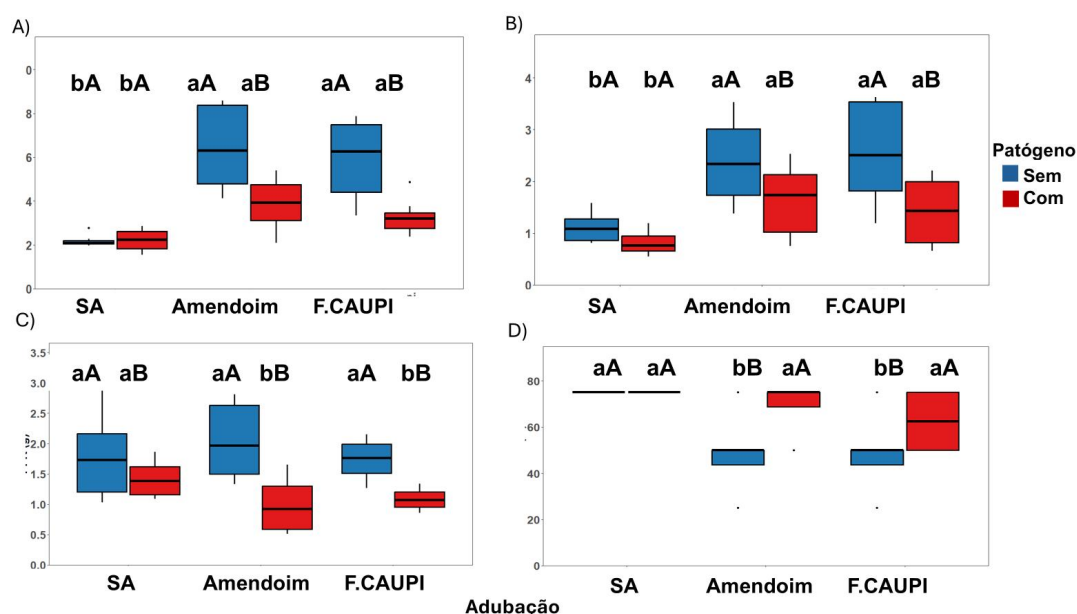
Quanto à MFPA e à MSPA, observaram-se resultados semelhantes entre os tratamentos. As fontes de adubação verde promoveram incrementos nessas variáveis em comparação ao tratamento sem adubação. Para a MFPA, os aumentos foram de 47% na presença do patógeno e de 66,5% na ausência do patógeno. Já para a MSPA, os incrementos corresponderam a 50,3% com patógeno e 56,9% sem patógeno, sempre em relação ao tratamento sem adubo sob as mesmas condições (Figura 3).

Ao comparar o efeito do patógeno em cada tipo de adubação sobre a MFPA e a MSPA, observa-se que a presença dos patógenos reduziu a eficiência das adubações em promover maiores ganhos em MFPA e MSPA. Para a MFPA, o feijão-caupi cultivado sem patógeno apresentou um aumento de 44,21% em relação ao tratamento com patógeno, enquanto o amendoim registrou incremento de 40,55% quando comparado ao tratamento com patógeno. No tratamento sem adubação, não houve diferença entre a presença e a ausência do patógeno (Figura 3).

Para o efeito da interação entre Adubo vs Patógeno sobre a MFR

(Figura 3), se observa que as fontes de adubação e o controle, ambos sem inoculação dos isolados, apresentaram médias semelhantes entre si. Na presença dos isolados de podridão radicular, o tratamento sem adubo apresentou a maior média em MFR, com ganho superior a 31,6% em relação às fontes de adubação. Houve redução da MFR nos tratamentos com adubação na presença do patógeno, sendo de 45,3% para o feijão-caupi e de 31,5% para o amendoim, quando comparados aos respectivos tratamentos sem patógeno (Figura 3).

**Figura 3.** Médias e gráfico de Boxplot em função da interação dupla entre adubo vs patógeno, para as variáveis: A) massa fresca parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (MFPA), B) massa seca parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) (MSPA), C) massa fresca de raiz (g planta<sup>-1</sup>) (MFR), D) colonização interna de maniva (Colint), em mudas de mandioca, genótipo BRS Novo Horizonte.



\*.Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). As letras minúsculas comparam os níveis de adubação dentro de cada nível de patógeno, enquanto as letras maiúsculas comparam os níveis de patógeno dentro do mesmo nível de adubação. .\*SA: sem adubação; F.CAUPI: feijão caupi.

O efeito da interação dupla Adubação vs Patógeno ( $p < 0,01$ ) sobre colonização interna, mostrou que na ausência dos patógenos as fontes de adubação reduziram o COLINT, em comparação ao tratamento sem adubo, em 37,5%. Já na presença de patógenos, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Ao comparar cada tratamento nas condições com e

sem patógeno, verifica-se que houve aumento do COLINT de 25% para o feijão-caupi e de 31,8% para o amendoim, em relação aos respectivos tratamentos sem patógeno. Para o tratamento sem adubo não houve diferença, nas mesmas condições (Figura 3E).

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Respostas do genótipo BRS Poti Branca em função dos tratamentos

Os resultados demonstraram que o manejo integrado com a adubação verde e o biocontrole exerceram efeitos positivos sobre o crescimento das mudas de BRS Poti Branca, enquanto que o mix de patógenos de podridão radicular, sobretudo isoladamente, acometeram principalmente à biomassa radicular e o crescimento vertical das mudas.

As mudas apresentaram maior média em vigor quando submetidas as melhores condições, aplicação do biocontrole e ausência de patógenos. Diversos estudos confirmam que espécies de *Trichoderma* são eficazes promotoras do crescimento vegetal devido a sua capacidade de solubilizar nutrientes (GALEANO et al., 2025; BANONI et al., 2020) e produzir fitohormônios (HALIFU et al., 2019), aumentando a atividade enzimática (HANG et al., 2022; WEI et al., 2023), promovendo maior vigor vegetal. Enquanto que, os patógenos estão relacionados com o baixo vigor, com reduções no crescimento e desenvolvimento vegetal.

Os resultados para a variável altura, evidenciaram que a presença dos patógenos reduziu significativamente o crescimento vertical das mudas, mesmo sob manejo integrado, evidenciando o impacto negativo desses microrganismos. Esse resultado corrobora com a literatura, que descreve reduções significativas no crescimento vertical de mudas de diversas culturas causadas por patógenos de solo, mesmo quando práticas de manejo integrado de doenças são adotadas (BUIRIS et al., 2024; DELAI et al., 2024; DOMINGUEZ-BEGINES et al., 2020). Patógenos edáficos levam à obstrução dos vasos condutores das plantas, o que compromete o transporte de água e nutrientes, causando crescimento atrofiado ou redução do crescimento e do

vigor vegetal (KANG et al., 2025; KHOKHAR et al., 2024), e redução da formação de biomassa (NURCAHYANI et al., 2021).

Se observa ainda que, na ausência da inoculação dos patógenos e ausência da aplicação do biocontrole, as fontes de adubação promoveram maiores médias de altura, em relação ao tratamento sem adubação, e em relação as suas respectivas versões com *Trichoderma*. Esses resultados podem refletir a interação entre a disponibilidade de nutrientes no solo e a dinâmica de colonização inicial do *Trichoderma*, haja vista que microrganismos desse gênero são reconhecidos por aumentar a disponibilidade e a absorção de nutrientes as culturas, refletindo em ganhos vegetais (CHAGAS et al., 2017).

A interpretação dos resultados deve considerar que a aplicação de *Trichoderma* ocorreu 65 dias após a inoculação dos patógenos e sete dias após a incorporação das plantas utilizadas como adubação verde. Após a sua aplicação no solo, os agentes de biocontrole necessitam de um período para colonizar a rizosfera, estabelecer-se no solo e iniciar a interação com a planta, para posteriormente promover promoção de crescimento vegetal (BANDEIRA et al., 2023; CHAGAS et al., 2017), como observado para as demais variáveis avaliadas no presente estudo, e também observado por Romero et al. (2021) em estudos com mudas florestais.

Contudo, os resultados observados para as demais variáveis, sugerem que o *Trichoderma asperellum* pode atuar como modulador da resposta de defesa de defesa vegetal frente ao ataque de patógeno, além de exercer seus mecanismos diretos de promotor de crescimento e biocontrole (VELASCO et al., 2016; CHEN et al.; 2020; FERREIRA et al.; 2021). A resposta oposta observada para a altura de plantas, portanto, foi uma condição particular.

O maior incremento em biomassa aérea, MFPA e MSPA, foram observados para os tratamentos que receberam aplicação do biocontrole associado às plantas de adubação verde (feijão-caupi e amendoim comum), independentemente da presença de patógenos, indicando que essa associação entre as plantas de adubação e o mix de *Trichoderma* atuou de forma sinérgica, potencializando simultaneamente o crescimento vegetal e a estabilidade fisiológica das mudas, minimizando os danos causados pelos

patógenos.

Esse resultado indica que as plantas de adubação verde promoverem maior aporte e disponibilidade de nutrientes essenciais, especialmente N, P e K, melhorando as condições físico-químicas e biológicas do solo (HALLAMA et al., 2019; ZHILING et al. 2024). Nessas condições o *Trichoderma* intensifica sua colonização nas raízes e consegue potencializar seus efeitos promotores de crescimento às mudas, dentre os quais, maior absorção de nutrientes, maior atividade fisiológica e estímulo à formação de biomassa (GUZMÁN-GUZMÁN et al., 2019; MEHETRE; MUKHERJEE, 2015), evidenciando o papel das leguminosas no incremento de nutrientes e na melhoria da microbiota do solo, o que potencializa a ação de *Trichoderma*.

O resultado observado está de acordo com a literatura, a qual demonstra que a inclusão de leguminosas nos sistemas agrícolas contribui para o aporte de nutrientes e para o aumento da diversidade microbiana do solo, criando condições ideais para que o *Trichoderma* expresse seu máximo potencial como promotor de crescimento e agente de biocontrole (BAZAGHALEH et al., 2020; HALIFU et al., 2019; WANG et al., 2023).

Os maiores incrementos na massa fresca e seca de raízes (MFR e MSR) foram observados nos tratamentos que combinaram o agente de biocontrole com as fontes de adubação verde, sobretudo na ausência dos patógenos. Além disso, os resultados indicam que a atividade antagonista do *Trichoderma* foi limitada quando aplicado isoladamente (sem adubo), sugerindo que sua eficiência depende diretamente da melhoria das condições nutricionais do solo proporcionada pelos adubos verdes.

A baixa disponibilidade de nutrientes reduz tanto a capacidade do *Trichoderma* de colonizar as raízes quanto seu efeito promotor de crescimento vegetal, uma vez que a expressão desses mecanismos é intensificada em ambientes ricos em matéria orgânica e compostos disponíveis (ASGHAR et al., 2022; ASGHAR et al., 2024; LYU et al., 2022; HALLAMA et al., 2019; ZHILING et al., 2024).

Além disso, observou-se que, nos tratamentos sem adubação verde, a presença dos patógenos resultou em aumentos compensatórios na massa radicular, independente da aplicação do biocontrole, resultado possivelmente associados a respostas defensivas das mudas, como maior lignificação e

espessamento dos tecidos. A literatura confirma que, na ausência de adubação, a presença de patógenos pode induzir aumento compensatório da massa radicular, frequentemente mediado por lignificação e outras respostas defensivas estruturais, como estratégia de sobrevivência e tolerância ao estresse (CARDONI et al., 2022; NINKUU et al., 2022; ZHANG et al., 2018).

Os resultados observados corroboram com a literatura, a qual descreve que os patógenos de podridão radicular são de difícil controle, e que os danos causados às culturas agrícolas podem ser irreversíveis (LEGRIFI et al., 2023; LI et al., 2024). Nesse contexto, e com base nos resultados, estratégias de prevenção se faz necessário por serem mais eficaz. A integração entre a adubação verde e o uso de agentes de biocontrole intensifica a supressividade do solo e cria condições mais favoráveis para o estabelecimento, sobrevivência e ação de microrganismos benéficos, por promover melhor estabilidade dos agentes de biocontrole no solo, que exercem antagonismo sobre os patógenos (BARROS et al., 2014).

As plantas utilizadas como adubo verde contribuem para a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, e promovem incrementos na atividade microbiana, por meio da disponibilidade de nutrientes fator que favorece comunidades microbianas antagonistas aos patógenos. Esses efeitos já foram amplamente documentados, demonstrando que a incorporação de adubos verdes potencializa o crescimento das culturas e fortalece a capacidade do sistema agrícola de suprimir doenças (LI et al., 2015; SOUSA et al., 2024; YANG et al., 2019).

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam que a adoção integrada de adubação verde e agentes de biocontrole representa uma estratégia essencial para a produção de mudas do genótipo de BRS Poti Branca, promovendo sistemas produtivos mais equilibrados e biologicamente funcionais, além de poder minimizar os danos às culturas em condições de solo com histórico de patógenos de podridão radicular.

#### **4.2 Resposta do genótipo BRS Novo Horizonte em função dos tratamentos**

A resposta das mudas do genótipo BRS Novo Horizonte em função da

interação entre o biocontrole vs patógenos, demonstraram que a aplicação dos agentes de biocontrole exerceu efeito positivo sobre o crescimento das mudas, com aumentos significativos em vigor, massa fresca e seca da parte aérea, e massa fresca de raiz, na ausência de patógenos de podridão radicular (Figura 1). O resultado observado pode ser atribuído a capacidade do *T. asperellum* de modular o crescimento vegetal pela produção de fitormônios, maior eficiência na absorção de nutrientes, incremento na atividade enzimática e estímulo ao desenvolvimento radicular (GUZMÁN-GUZMÁN et al., 2019; MEHETRE; MUKHERJEE, 2015).

No entanto, observa-se que, embora o biocontrole tenha melhorado o desempenho das mudas, seu efeito foi menos pronunciado na presença dos isolados de podridão radicular. (Figura 1). Esse resultado sugere que o *Trichoderma* não atuou com mecanismos diretos de biocontrole sobre os isolados de podridão radicular, embora seu efeito biocontrolador esteja bem elucidado (BENÍTEZ et al., 2004; CORTES-PENAGOS et al., 2007; GUZMÁN-GUZMÁN et al., 2019).

Esse comportamento indica que, embora o *Trichoderma* tenha a capacidade de colonizar rapidamente raízes e nichos do solo (TY et al., 2022; DUTTA et al., 2024; WOO et al., 2022), a pressão exercida pelos patógenos pode ter limitado a capacidade de expressar seu potencial máximo de promoção de crescimento, devido, provavelmente a competição direta por nutrientes e espaço (CABRAL-MIRAMONTES et al., 2022; OSZUST et al., 2020). Além disso, ao colonizar as raízes, os patógenos podem ter produzido metabólitos tóxicos que causam estresse fisiológico às mudas, reduzindo a eficiência do *Trichoderma*, tanto na promoção de crescimento vegetal quanto no biocontrole (ALFYKU et al., 2021; MORAN-DIEZ et al., 2020).

Diversos estudos mostram que o potencial efeito biocontrolador do *Trichoderma* é altamente dependente da espécie ou cepa utilizada, assim como do patógeno (ATLAGIC et al., 2025; ALWADAI et al., 2022; HEWEDY et al., 2020; LIU et al., 2025). Como observado no ensaio da atividade antagonista entre o mix de *T. asperellum* vs os isolados de podridão radicular, apresentados no capítulo 2 do presente trabalho, no qual o *Trichoderma* controlou o crescimento micelial do *Fusarium solani* e *F. oxysporum*, no entanto, não demonstrou eficácia significativa sobre o crescimento dos

isolados causadores de podridão negra (*Neoscytalidium dimidiatum* e *Lasiodiplodia ssp*), o que pode explicar parte dos resultados obtidos.

Resultados de pesquisas que utilizaram a co-aplicação do *Trichoderma*, mostram que estratégias que proporcionam a menor competição por nutrientes e espaço, favorecem a sua rápida colonização, potencializando seu efeito benéfico sobre as plantas (HAO et al., 2022; NATSIOPOULOS et al., 2022). Esses resultados ressaltam a importância da adoção de estratégias para o manejo integrado, visando promover melhor desempenho dos agentes de biocontrole sobre às mudas de mandioca, sobretudo, em cultivo com alta densidade patogênica.

Se observa, que as fontes de adubação verde utilizadas em combinação com o mix de *Trichoderma* incrementaram o ganho de massa fresca (MFPA) e seca de parte aérea (MSPA), das mudas de BRS Novo Horizonte. Enquanto que, a limitação de nutrientes restringiu tanto o desenvolvimento das mudas quanto o efeito promotor de crescimento induzidos pelos agentes de biocontrole, com valores de MFPA e MSPA, inferiores aos observados nos tratamentos sem adubo (Figura 2).

O maior incremento de biomassa observado nos tratamentos que associaram a adubação verde a aplicação do biocontrole sugere que a adubação verde promoveu rápida disponibilidade de nutrientes tanto para as mudas como para o *Trichoderma*, resultante do processo de decomposição (HALLAMA et al., 2019; ZHILING et al. 2024), haja vista que plantas leguminosas, disponibilizam N, P, K no solo por meio da decomposição (LYU et al., 2024; SOLANGI et al., 2019). Nesse processo, o nitrogênio é liberado de acordo com a demanda das mudas, enquanto o fósforo e o potássio tornam-se mais acessíveis devido a liberação contínua de ácidos orgânicos e enzimas (ISLAM et al., 2018; TALGRE et al., 2018).

Diversos estudos têm demonstrado que a incorporação de adubos verdes ao solo promove ganhos diretos no crescimento e desenvolvimento das plantas, sobretudo pela maior disponibilidade de nutrientes, a qual favorece tanto o vigor vegetal quanto o crescimento e a atividade de *Trichoderma* no solo, o que resulta em maior colonização do fungo nas raízes das plantas (ASGHAR et al., 2024; ASGHAR et al., 2022; LYU et al., 2022). Assim, a associação entre adubação verde e *Trichoderma* tende a

potencializar o crescimento vegetal e a eficiência do biocontrole, uma vez que ambos se beneficiam das condições nutricionais aprimoradas do sistema (LYU et al., 2022; NASCIMENTO et al., 2025).

Associado a isso, os efeitos supressivos da adubação verde sobre os patógenos também foram evidentes. As plantas utilizadas como adubo verde incrementaram a MFPA e MSPA das mudas, mesmo na presença da inoculação dos patógenos de podridão, em comparação ao tratamento sem adubação (Figura 2). Esse efeito sugere que as plantas estimularam a maior diversidade e abundância de microrganismos antagonistas no solo, como também a maior produção de substâncias antimicrobianas (JAYARAMAN et al., 2020; KUMAR et al., 2023), mudanças no pH e aumento de matéria orgânica e nutrientes (DONG et al., 2021; WEI et al., 2025), fatores que afetam a colonização dos patógenos, refletindo no melhor crescimento das mudas de mandioca.

Contudo, os resultados mostraram que, embora a adubação verde tenha suprimido o efeito dos patógenos, os maiores ganhos de MFPA e MSPA foram observados nos tratamentos com as adubações na ausência dos patógenos (Figura 2), indicando que a agressividade dos patógenos inoculados pode sobrepor os efeitos supressivo promovido pelas adubações. Assim, se faz necessário integrar a outras estratégias para potencializar o controle e minimizar os danos (LARKIN et al., 2013; LARKIN et al., 2021).

A incorporação do feijão caupi assim como do amendoim ao solo, promoveram redução sobre a colonização interna das manivas, em relação ao tratamento sem adubação (Figura 3). Tal efeito pode está relacionado a presença de compostos tóxicos aos patógenos liberados na decomposição das adubações, potencializando o efeito supressivo natural do solo, o que refletiu na menor colonização patogênica (BARROS et al., 2013; TERMORSHUIZE et al., 2006).

Contudo, na presença de patógenos inoculados, o efeito isolado da adubação não foi suficiente para reduzir os níveis de colonização, indicando que a adubação verde, por si só, não exerce controle efetivo sob alta pressão de inóculo. Isso demonstra que os benefícios da adubação verde são potencializados quando associados a outras estratégias de manejo, como o uso de agentes de biocontrole.

Diante do contexto, os resultados indicam que a combinação entre adubação verde e o mix de *Trichoderma asperellum* contribui tanto para o maior crescimento das mudas como para a supressão natural de patógenos. Esse resultado tem grande relevância para a cultura da mandioca, considerando que fungos como *Lasiodiplodia*, *Neoscytalidium* e *Fusarium* são reconhecidos como importantes agentes de podridões radiculares, responsáveis por prejuízos significativos à cultura em diferentes regiões produtoras (SANGPUEAK et al., 2023; SILVA et al., 2024; SILVA et al., 2025).

Assim, o manejo integrado se constitui como uma alternativa eficiente e sustentável para promover o crescimento inicial da mandioca, sobretudo em áreas com histórico de doenças radiculares. Contudo, se faz necessário ajustes que favoreçam a rápida colonização do *Trichoderma* ou reduzam a competição, visando potencializar seus mecanismos benéficos sobre as mudas, sobretudo em ambientes com maior ocorrência de patógenos de podridão radicular,

Segundo Oszust et al. (2020), o potencial efeito competitivo de *Trichoderma* ssp depende fortemente da disponibilidade de substratos e do tempo de colonização, visto que sua eficácia está relacionada à capacidade de explorar fontes de carbono específicas e ocupar rapidamente nichos nutricionais antes de fungos patogênicos. Dessa forma, quando o microrganismo benéfico encontra dificuldades de se estabelecer rapidamente, sobretudo, em ambiente com alta densidade patogênica, seu potencial de colonização e antagonismo é prejudicado.

Os resultados reforçam que, a resposta ao *Trichoderma* depende fortemente do contexto nutricional, do genótipo e do momento de sua aplicação. Portanto, é recomendado o manejo integrado com plantas de adubo verde e *Trichoderma* para a produção de mudas de BRS Novo Horizonte, sendo necessário ajuste do tempo de aplicação do biocontrole e incorporação das plantas utilizadas com adubo verde, visando maximizar o efeito positivo do manejo sobre as mudas, em solos com alta densidade de patógenos de podridão radicular.

## 5. CONCLUSÕES

Os genótipos de mandioca BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte responderam positivamente ao manejo integrado. O efeito mediado pelo *Trichoderma asperellum* às mudas foi potencializado pela adubação verde.

Recomenda-se a adoção do manejo integrado na produção de mudas, ressaltando-se, contudo, a importância de determinar o período mais adequado para a inoculação do *Trichoderma asperellum* e incorporação das plantas utilizadas como adubos verdes, sobretudo para BRS Novo Horizonte, a fim de potencializar seus efeitos benéficos no controle de patógenos e na promoção do crescimento vegetal.

## 6. REFERÊNCIAS

ALWADAI, A., PERVEEN, K., & ALWAHAIBI, M. . The Isolation and Characterization of Antagonist *Trichoderma* spp. from the Soil of Abha, Saudi Arabia. **Molecules**, v.27, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27082525>.

ASGHAR, W, KATAOKA R. Green manure incorporation accelerates enzyme activity, plant growth, and changes in the fungal community of soil. **Arch Microbiology**, v. 204, p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02614-x>

ASGHAR, W., & KATAOKA, R. Different Green Manures (*Vicia villosa* and *Brassica juncea*) Construct Different Fungal Structures, Including Plant-Growth-Promoting **Effects, after Incorporation into the Soil. Agronomy**, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020323>.

ASGHAR, W., & KATAOKA, R. Co-application of Green Manure and *Trichoderma* spp. Induced Plant Growth Promotion by Nutrient Improvement and Increased Fungal Biomass in Soil. **Agricultural Research**, 2024. <https://doi.org/10.1007/s40003-024-00732-8>.

ASGHAR, W., KATAOKA, R. Co-application of Green Manure and *Trichoderma* spp. Induced Plant Growth Promotion by Nutrient Improvement and Increased Fungal Biomass in Soil. **Agricultural Research**, p. 1-10, 2024. <https://doi.org/10.1007/s40003-024-00732-8>

ASGHAR, W.; KATAOKA, R. Effect of co-application of *Trichoderma* spp. with organic composts on plant growth enhancement, soil enzymes and fungal community in soil. **Arch Microbiol**, v. 203, p. 4281–4291, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02413-4>

ASGHAR, W.; KATAOKA, R. Fungal volatiles from green manure-incorporated soils promote the growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and mediate

antifungal activity against *Fusarium oxysporum* in vitro. **Plant Soil**, v. 507, p. 77-88, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06158-5>

ATLAGIĆ, K., ANTIĆ, T., LUKIČIĆ, J., KRUŠČIĆ, K., ŽIVIĆ, M., UNKOVIĆ, N., PAJIĆ, T., STEVANOVIĆ, K., & TODOROVIĆ, N. . Biocontrol Potential of Native *Trichoderma* Strains Toward Soil-Borne Phytopathogenic and Saprotrophic Fungi. **Journal of Fungi**, v. 11, (2025) <https://doi.org/10.3390/jof11070535>.

BANDEIRA, J. B. RPDRIGUES, J. N.; OLIVEIRA, R. S.; PINTO, I. O.; CHAGAS-JÚNIOR, A. F.; NASCIMENTO, V. L.; SARMENTO, M. I.; MORAES, C. B.; SAEMENTO, A. R. Endophytic colonization of five *Trichoderma* species and their effects on growth of a Eucalyptus hybrid. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 54, n. 4, p. 3113–3125, 2023.

BAZGHALEH, N., PRASHAR, P., WOO, S., & VANDENBERG, A. Effects of Lentil Genotype on the Colonization of Beneficial *Trichoderma* Species and Biocontrol of Aphanomyces Root Rot. **Microorganisms**, 8, 2020. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091290>.

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A. M.; LIMÃO, M. C.; CODÓN, A. C. Mecanismos de Biocontrole de Cepas de *Trichoderma*. **Internacional Microbiol**, v. 7 , p. 249–260, 2004.

BONONI, L., CHIARAMONTE, J., PANSA, C., MOITINHO, M., & MELO, I. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. **Scientific Reports**, 10, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>.

BUIRS, L., & PUNJA, Z. (2024). Manejo integrado de patógenos e micróbios em *Cannabis sativa* L. (Cannabis) em condições de estufa. **Plants** , v. 13, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13060786> .

CABRAL-MIRAMONTES, J., OLMEDO-MONFIL, V., LARA-BANDA, M., ZÚÑIGA-ROMO, E., ARÉCHIGA-CARVAJAL, E. Promotion of Plant Growth in Arid Zones by Selected *Trichoderma* spp. Strains with Adaptation Plasticity to Alkaline pH. **Biology**, 11, 2022. <https://doi.org/10.3390/biology11081206>.

CARDONI, M., CABANÁS, C., VALVERDE-CORREDOR, A., VILLAR, R., & MERCADO-BLANCO, J.. Unveiling Differences in Root Defense Mechanisms Between Tolerant and Susceptible Olive Cultivars to *Verticillium dahliae*. **Frontiers in Plant Science**, v.13, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.863055>.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SOARES, L. P.; FIDELIS, R. R. *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 97–102, 2017.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS-JUNIOR, A. F.; SOARES, L. P.; FIDELIS, R. R. *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura**

**Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 97–102, 2017.

CHEN, S. C.; REN, J. J.; ZHAO, H. J.; WANG, X. L.; WANG, T. H.; JIN, S. D.; WANG, Z.; LI, C.; LIU, A.; LIN, X.; AHAMMED, G. J. *Trichoderma harzianum* improves defense against *Fusarium oxysporum* by regulating ROS and RNS metabolism, redox balance, and energy flow in cucumber roots. **Phytopathology**, v. 109, n. 6, p. 972-982, 2019. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-18-0342-R>.

CORTES-PENAGOS, C.; OLMEDO-MONFIL, V.; HERRERA-ESTRELLA, A. A The Nature of Fungal Mycoparasitic Biocontrol Agents. In: **Biological control of plant diseases**. CRC Press, 2007. p. 327-353.

DELAI, C., MUHAE-UD-DIN, G., ABID, R., TIAN, T., LIU, R., XIONG, Y., S., & GHORBANI, A. (2024). Uma revisão abrangente de estratégias de manejo integrado para a doença de tombamento em pimenta. **Frontiers in Microbiology**, v 15, 2024. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1479957>.

DOMÍNGUEZ-BEGINES, J., AVILA, J., GARCÍA, L., & GÓMEZ-APARICIO, L. Patógenos transmitidos pelo solo como determinantes de padrões de regeneração em nível comunitário em florestas mediterrâneas. **The New phytologist**, 2020 . <https://doi.org/10.1111/nph.16467>.

DONG, N., HU, G., ZHANG, Y., QI, J., CHEN, Y., & HAO, Y. Effects of green-manure and tillage management on soil microbial community composition, nutrients and tree growth in a walnut orchard. **Scientific Reports**, v. 11, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96472-8>.

DUTTA, P., MAHANTA, M., SINGH, S., THAKURIA, D., DEB, L., KUMARI, A., UPAMANYA, G., BORUAH, S., DEY, U., MISHRA, A., VANLALTANI, L., VIJAYREDDY, D., HEISNAM, P., & PANDEY, A. Molecular interaction between plants and *Trichoderma* species against soil-borne plant pathogens. **Frontiers in Plant Science**, v.14, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1145715>.

FISCHLER, M.; WORTMANN, C. S.; FEIL, B. (1999). *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. **Field Crops Research**, v. 61, n. 2, p. 97–107. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00150-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00150-6)

GALEANO, R., DE OLIVEIRA SIMAS, A., RIBEIRO, J., DE ALENCAR GUIMARÃES, N., VIANA, T., MASUI, D., CORRÊA, B., GIANNESI, G., DE LIMA, S., DA SILVA BRASIL, M., & ZANOELO, F. (2025). Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* strains: mechanisms to promote soybean growth and support sustainable agroecosystems. **Plant and Soil**. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07147-y>.

GUZMÁN-GUZMÁN, P.; KUMAR, A.; LOS SANTOS-VILLALOBOS, S.; PARRA-COTA, F. I.; OROZCO-MOSQUEDA, M. D. C.; FADIJI, A. E.; HYDER, S.; BABALOLA, O. O.; SANTOYO, G. *Trichoderma* species: Our best fungal

allies in the biocontrol of plant diseases—A review. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 432, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>

HALIFU, S., DENG, X., SONG, X., & SONG, R. Effects of Two *Trichoderma* Strains on Plant Growth, Rhizosphere Soil Nutrients, and Fungal Community of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Annual Seedlings. **Forests**, 2019. <https://doi.org/10.3390/f10090758>.

HALLAMA, M.; PEKRUN, C.; LAMBERS, H.; KANDELER, E. Hidden miners—the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. **Plant and Soil**, v. 434, p. 7-45, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3810-7>

HANG, X., MENG, L., OU, Y., SHAO, C., XIONG, W., ZHANG, N., LIU, H., LI, R., SHEN, Q., & KOWALCHUK, G. *Trichoderma*-amended biofertilizer stimulates soil resident *Aspergillus* population for joint plant growth promotion. **NPJ Biofilms and Microbiomes**, v. 8, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41522-022-00321-z>.

HAO, D., LANG, B., WANG, Y., WANG, X., LIU, T., & CHEN, J. Designing synthetic consortia of *Trichoderma* strains that improve antagonistic activities against pathogens and cucumber seedling growth. **Microbial Cell Factories**, v. 21, 2022. <https://doi.org/10.1186/s12934-022-01959-2>.

HEWEDY, O., LATEIF, K., SELEIMAN, M., SHAMI, A., ALBARAKATY, F., & EL-MEIHY, R. Phylogenetic Diversity of *Trichoderma* Strains and Their Antagonistic Potential against Soil-Borne Pathogens under Stress Conditions. **Biology**, v. 9, 2020. <https://doi.org/10.3390/biology9080189>.

ISLAM, M., URMI, T., RANA, M., ALAM, M., & HAQUE, M. Green manuring effects on crop morpho-physiological characters, rice yield and soil properties. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, 25, 303 - 312, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0624-2>.

ISLAM, S. S.; HOSSAIN, A.; HASAN, M.; ITOH, K.; TUTEJA, N. Application of *Trichoderma* spp. as biostimulants to improve soil fertility for enhancing crop yield in wheat and other crops. In *Biostimulants in Alleviation of Metal Toxicity in Plants* (pp. 177-206). **Academic Press**, 2023. p. 177-206. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99600-6.00014-1>

JAYARAMAN, S., NAOREM, A., LAL, R., DALAL, R., SINHA, N., PATRA, A., & CHAUDHARI, S. Disease-Suppressive Soils-Beyond Food Production: a Critical Review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 21, 1437 - 1465, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00451-x>.

KANG, H., YAN, C., LV, K., SONG, Y., YANG, H., QI, H., WANG, Y., & WANG, D. Pragas e doenças afetam a regeneração natural precoce da população de carvalho (*Quercus aliena* var. *agudoserrata*). **Oikos**, 2025. <https://doi.org/10.1002/oik.11126>.

KOWSARI, M.; ZAMANI, M.; MOTALLEBI, M. Verexpression of chimeric chitinase 42 enhanced antifungal activity of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium graminearum*., **Mycaulegia Iranica**, v.3, n.1, p.15-23, 2016. DOI: <https://doi.org/10.22043/mi.2017.44841.1074>

LARKIN, R. Green manures and plant disease management. **Cab Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v.8 , 2013. <https://doi.org/10.1079/pavsnr20138037>.

LARKIN, R. . Use of Crop Rotations, Cover Crops and Green Manures for Disease Suppression in Potato Cropping Systems. **Global Journal of Agricultural Innovation, Research & Development**, 2021. <https://doi.org/10.15377/2409-9813.2021.08.12>.

LEGRIFI, I., TAOUSSI, M., FIGUIGUI, J., LAZRAQ, A., HUSSAIN, T., & LAHLALI, R. Oomycetes Root Rot Caused by *Pythium* spp. and *Phytophthora* spp.: Host Range, Detection, and Management Strategies, Special Case of Olive Trees. **Gesunde Pflanzen**, (2023).. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00946-w>.

LI, F., WANG, Z., DAI, J. et al. Fate of nitrogen from green manure, straw, and fertilizer applied to wheat under different summer fallow management strategies in dryland. **Biol Fertil Soils**, v. 51, p. 769–780, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1023-2>

LI, J., AI, M., HOU, J., ZHU, P., CUI, X., & YANG, Q. Plant–pathogen interaction with root rot of *Panax notoginseng* as a model: Insight into pathogen pathogenesis, plant defence response and biological control. **Molecular Plant Pathology**, 25, (2024).. <https://doi.org/10.1111/mpp.13427>.

LIU, Y., HE, P., HE, P., MUNIR, S., AHMED, A., WU, Y., YANG, Y., LU, J., WANG, J., YANG, J., PAN, X., TIAN, Y., & HE, Y. (2022). Potential biocontrol efficiency of *Trichoderma* species against oomycete pathogens. **Frontiers in Microbiology**, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.974024>.

LYU, R., & HUANG, C. Supplementation of Manure Compost with *Trichoderma asperellum* Improves the Nutrient Uptake and Yield of Edible Amaranth under Field Conditions. **Sustainability**, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14095389>.

MBUTHIA, L. W.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; DEBRUYN, J.; SCHAEFFER, S.; TYLER, D.; ODOI, E.; MPHESHEA, M.; WALKER, F.; EASH, N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: implications for soil quality. **Soil Biol Biochem**, v. 89, p. 24–34, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.016>

MITRAN, T., MEENA, R.S., LAL, R., LAYEK, J., KUMAR, S., DATTA, R. Role of soil phosphorus on legume production. In: Meena, R., Das, A., Yadav, G., Lal, R. (eds) **Legumes for Soil Health and Sustainable Management**. pp. 487–510, 2018 Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13->

0253-4\_15

NASCIMENTO, L., SILVA, F., NOGUEIRA, R., CIA, S., SOUSA, H., SOUSA, G., SOUSA, H., MORAES, J., RIBEIRO, J., GOES, G., LOPES, D., & CABRAL, M. Organic fertilization strategies and use of *Trichoderma* in the agronomic performance of green maize. *Brazilian journal of biology*, v. 85, 2025, e287513 . <https://doi.org/10.1590/1519-6984.287513>.

NATSIPOPOULOS, D., TZIOLIAS, A., LAGOIANNIS, I., MANTZOUKAS, S., & ELIOPOULOS, P. Growth-Promoting and Protective Effect of *Trichoderma atrobrunneum* and *T. simmonsii* on Tomato against Soil-Borne Fungal Pathogens **Crops**, (2022). <https://doi.org/10.3390/crops2030015>.

NEGI, S.; TAK, H.; BHAKTA, S.; TIWARI, M.; GANAPATHI, T. R.; SINGH, S.; BALLAL, A. A novel approach to enhance resistance to vascular disease by expressing cell-death-inducing fungal elicitors in the xylem tissue. **Plant Biotechnology Journal**, v. 23, n. 8, p. 3283-3299, 2025. <https://doi.org/10.1111/pbi.70131>

NINKUU, V., YAN, J., FU, Z., YANG, T., ZIEMAH, J., ULLRICH, M., KUHNERT, N., & ZENG, H. Lignin and Its Pathway-Associated Phytoalexins Modulate Plant Defense against Fungi. **Journal of Fungi**, v. 9, 2022 .

OSZUST, K., CYBULSKA, J., & FRĄC, M. How Do *Trichoderma* Genus Fungi Win a Nutritional Competition Battle against Soft Fruit Pathogens? A Report on Niche Overlap Nutritional Potentiates. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21124235>.

SALDAÑA-MENDOZA, S. A.; PACIOS-MICHELENA, S.; PALACIOS-PONCE, A. S.; CHÁVEZ-GONZÁLEZ, M. L.; AGUILAR, C. N. *Trichoderma* as a biological control agent: mechanisms of action, benefits for crops and development of formulations. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 10, p. 269, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03695-0>

SANGPUEAK, R.; DUCHANEE, S.; SAENGCHAN, C.; PAPATHOTI, N. K.; HOANG, N. H.; THANH, T. L.; PHANSAK, P.; Buensanteai, N. Identification of cassava black stem and root rot agents in Thailand. **Chilean journal of agricultural research**, v. 83, n. 1, p. 70-82, 2023. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392023000100070>

SHARMA, P.; LAOR, Y.; RAVIV, M.; MEDINA, S.; SAADI, I.; KRASNOVSKY, A.; VAGER, M.; LEVY, G. J.; BAR-TAL, A.; BORISOVER, M. Green manure as part of organic management cycle: Effects on changes in organic matter characteristics across the soil profile. **Geoderma**, v. 305, p. 197-207, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.003>

SILVA, B. V. S.; PAIVA, G. F.; CARRASCO, N. F.; MOTA, L. H. C.; GONÇALVES, F. J. T.; SOUZA, G. H. S.; ALVES, A. R. Evaluation of

resistance levels to *Fusarium solani* in cassava genotypes. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 11, n. 2, p. e7709-e7709, 2024. <https://doi.org/10.32404/rean.v11i2.7709>

SILVA, J. S. A.; SILVA SANTOS, A. C.; SOUZA, C. A. F.; COSTA, D. P.; QUEIROZ BRITO, A. C.; NASCIMENTO BARBOSA, R.; MEDREIROS, D. P. C.; MACHADO, R. A.; SOUZA-MOTTA, C. M. First reports of *Fusarium agrestense*, *F. gossypinum*, *F. gros-michelii* and *F. triseptatum* causing cassava root rot in Pernambuco, Brazil. **Crop Protection**, v. 187, 106947, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106947>

SMITH, J. L.; PAPENDICK, R. I.; BEZDICEK, D.F.; LYNCH, J. M. Soil organic matter dynamics and crop residue management. In: Metting FB Jr (ed) Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management. **Marcel Dekker**, pp 65–94, 1992.

SOFO, A.; SCOPA, A.; MANFRA, M.; DE NISCO, M.; TENORE, G.; TROISI, J.; DI FIORI, R.; NOVELLINO, E. *Trichoderma harzianum* strain T-22 induces changes in phytohormone levels in cherry rootstocks (*Prunus cerasus* × *P. canescens*). **Plant Growth Regul**, v. 65, p. 421-425, 2011.

SOUZA, M. C. P.; DIAMANTINO, M. S. A. S.; HOHENFELD, C. S. VIDAL, C. B. M.; OLIVEIRA, S. A. S. Effect of cover crops on the suppressiveness of root rot and on the agronomic performance of cassava. **European Journal of Plant Pathology**, v. 170, p. 649–667, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02925-x>

TY, R., K., & OZIMEK, E. Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, (2022). <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>.

WANG, X.; ZHAO, Z.; LI, H.; WEI, Y.; HU, J.; YANG, H.; ZHOU, Y.; LI, J. The growth-promoting and disease-suppressing mechanisms of *Trichoderma* inoculation on peanut seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1414193>

WANG, Y., LIU, Z., HAO, X., WANG, Z., WANG, Z., LIU, S., TAO, C., WANG, D., WANG, B., SHEN, Z., SHEN, Q., & LI, R. Biodiversity of the beneficial soil-borne fungi steered by *Trichoderma-amended* biofertilizers stimulates plant production. **NPJ Biofilms and Microbiomes**, v. 9, (2023). <https://doi.org/10.1038/s41522-023-00416-1>.

WANG, Y.; HAO, X.; LU, Q.; WANG, L.; QIAN, W.; LI, N.; DING, C.; WANG, X.; YANG, Y. Transcriptional analysis and histochemistry reveal that hypersensitive cell death and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> have crucial roles in the resistance of tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) to anthracnose. **Horticulture Research**, v. 5, p. 18, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41438-018-0025-2>

WEI, B., BI, J., QIAN, X., PENG, C., SUN, M., WANG, E., LIU, X., ZENG, X.,

FENG, H., SONG, A., & FAN, F. Organic Manure Amendment Fortifies Soil Health by Enriching Beneficial Metabolites and Microorganisms and Suppressing Plant Pathogens. **Agronomy**, (2025). <https://doi.org/10.3390/agronomy15020429>.

WEI, Y., YANG, H., HU, J., LI, H., ZHAO, Z., WU, Y., LI, J., ZHOU, Y., YANG, K., & YANG, H. *Trichoderma harzianum* inoculation promotes sweet sorghum growth in the saline soil by modulating rhizosphere available nutrients and bacterial community. **Frontiers in Plant Science**, v.14, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1258131>.

WILSON, S. K.; PRETORIUS, T.; NAIDOO, S. Mechanisms of systemic resistance to pathogen infection in plants and their potential application in forestry. **BMC Plant Biol**, v. 23, p.404, 2023. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04391-9>

WOO, S., HERMOSA, R., LORITO, M., & MONTE, E. (2022). Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. **Nature Reviews Microbiology**, 21, 312-326. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>.

YANG, L.; ZHOU, X.; LIAO, Y.; LU, Y.; NIE, J.; CAO, W. Co-incorporation of rice straw and green manure benefits rice yield and nutrient uptake. **Crop Science**, v. 59, p. 749–759, 2019. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.07.0427>

ZHANG, Y., WU, L., WANG, X., CHEN, B., ZHAO, J., CUI, J., LI, Z., YANG, J., WU, L., WU, J., ZHANG, G., & , Z. The cotton laccase gene GhLAC15 enhances Verticillium wilt resistance via an increase in defence-induced lignification and lignin components in the cell walls of plants. **Molecular Plant Pathology**, v. 20, p. 309 - 322, 2018. <https://doi.org/10.1111/mpp.12755>.

## **CAPÍTULO 4**

**Manejo integrado de *Pratylenchus* spp: genótipos de mandioca e  
adição de carvão vegetal**

## Manejo integrado de *Pratylenchus* spp: genótipos de mandioca e adição de carvão vegetal

**RESUMO:** *Pratylenchus* spp. é um importante parasita que acomete culturas em escala mundial. Como forma de prevenir ou controlar os danos causados as culturas de interesse agrícola, se faz necessário a adoção de estratégias de manejo direcionadas, dentre as quais se destaca o uso de genótipos não suscetíveis combinados a incorporação de carvão vegetal, visando melhorar as propriedades físicas, químicas e biológica do solo, para maximizar o potencial supressivo. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da incorporação do carvão vegetal combinado a diferentes genótipos da mandioca sobre o manejo de *Pratylenchus* spp. O delineamento adotado foi em DIC, em fatorial 4x2x2, sendo quatro genótipos de mandioca (BRS Formosa, BRS kiriris, BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte); incorporação do carvão vegetal (com e sem); e inoculação com nematoides (presença e ausência). Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura, massa fresca e seca de parte aérea, massa fresca e seca de raiz, número de hastes, volume de raiz, número de nematoides no solo e nas raízes. O carvão vegetal suprimiu o número de nematoides no solo (NSOLO) cultivado com dos genótipos, exceto com com BRS Formosa. A população de nematoides nas raízes (NRAIZ) foi significamente reduzida no cultivo de BRS Formosa e Novo Horizonte com a adição do carvão, indicando possível limitação à penetração e movimentação de *Pratylenchus* spp. nas raízes. Já a BRS Novo Horizonte destacou-se como a mais eficiente, apresentando redução expressiva sobre a população de nematoides no solo e nas raízes. O efeito do carvão vegetal sobre o manejo de *Pratylenchus* spp. é dependente do genótipo. O manejo integrado de nematoides para midas de mandioca representa uma estratégia promissora, cujo efeito e aplicação deve ser estudada para cada genótipo, visando futura adoção nos sistemas de cultivos.

**Palavras chave:** Controle fitossanitário, Interação solo-planta, *Manihot esculenta* Crantz, Nematoides fitoparasitas

### **Integrated management of *Pratylenchus* spp.: cassava genotypes and addition of charcoal fines**

**ABSTRACT:** In agricultural crop management, the control of plant-parasitic nematodes is a critical factor, as they limit productivity. *Pratylenchus* spp. is an important parasite affecting crops worldwide. As a means to prevent or reduce the damage caused to crop yield, it is necessary to adopt targeted management strategies, such as the use of non-susceptible varieties combined with the incorporation of organic matter sources, which enhance productivity and positively influence soil fertility, as well as its physical and biological properties, inducing suppressiveness. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of incorporating charcoal fines combined with different cassava cultivars on the management of *Pratylenchus* spp. The experimental design was completely randomized (CRD) in a 4×2×2 factorial scheme, consisting of four genotypes (BRS Formosa, BRS Kiriris, BRS Poti Branca, and BRS Novo Horizonte); charcoal incorporation (with and without); and nematode inoculation (presence and absence). Charcoal application suppressed nematode numbers in the soil (NSOIL) for most genotypes, except for BRS Formosa. Nematode populations in roots (NROOT) were significantly reduced in BRS Formosa and BRS Novo Horizonte when charcoal was added, indicating a possible limitation to *Pratylenchus* spp. penetration and movement in the roots. BRS Novo Horizonte was the most efficient genotype, presenting a marked reduction in nematode populations in both soil and roots. The effect of charcoal on *Pratylenchus* spp. management is genotype-dependent. Integrated nematode management in cassava cultivation represents a promising strategy, whose effectiveness and application should be studied for each cultivar, aiming at future adoption in production systems.

**Keywords:** Phytosanitary control; Soil–plant interaction; *Manihot esculenta* Crantz; Plant-parasitic nematodes.

## 1. INTRODUÇÃO

A mandioca enfrenta diversos desafios, relacionados a fatores bióticos e abióticos, entre eles o ataque de nematoides parasita de plantas, que causam sérios prejuízos ao desenvolvimento das plantas, resultando em perdas significativas de produtividade e qualidade dos tubérculos de mandioca (KOLOMBIA; FABUYI, 2023; LIANG et al., 2023; SANDOVAL-RUIZ et al., 2023). E dentre dos gêneros de fitonematoides, destaca-se *Pratylenchus* spp., que possui uma ampla gama de hospedeiros e com isso afeta muitas culturas economicamente importantes (CASTILLO E VOLVAS, 2007).

O nematoide *Pratylenchus brachyurus* é considerado o principal agente fitonematoide associado ao ataque do sistema radicular da mandioca. Sua presença provoca lesões nas raízes, comprometendo a absorção de água e nutrientes, o que pode resultar em um declínio geral do vigor das plantas e representar uma ameaça significativa à produtividade da cultura (LIANG et al., 2023; ONWUACHUS et al., 2023; SANDOVAL-RUIZ et al., 2023).

Diante disso, o manejo integrado de pragas e doenças (MIP), que combina várias estratégias sustentáveis para reduzir os danos causados por fitopatógenos, é uma forma eficiente de adotar medidas de manejo ao longo prazo (ONWUACHUS et al., 2023; KOLOMBIA et al., 2023). Na produção de mandioca, o manejo integrado envolve métodos culturais, biológicos e químicos (IGWE, 2023), bem como, o uso de cultivares resistentes que se constituí como uma estratégia fundamental para minimizar os impactos dos fitonematoides (EL-SAADONY et al., 2021; NOMURA et al., 2024). Além disso, o uso de condicionadores como carvão vegetal e suas variações, pode aumentar os teores de matéria orgânica e nutrientes do solo (ASIFIRI et al., 2025; TADELE et al., 2024).

O uso de carvão vegetal tem potencial como ferramenta no manejo de doenças, pois além de contribuir para melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo, por meio do aumento de matéria orgânica e maior capacidade de retenção de água e nutrientes, pode controlar fitopatógenos através do aumento da comunidade de microrganismos benéficos, uma vez

que cria um ambiente favorável ao seu desenvolvimento (LEHMANN et al., 2006; LENHMAN, 2007; WARNOCK et al., 2007). Vários estudos relatam que a aplicação de carvão vegetal no solo melhora a adsorção de nitrogênio solúvel (BAI et al., 2015; HOSSEINI et al., 2015; XU et al., 2016). A aplicação de 2,5% de carvão vegetal produziu incrementos significativos na altura da planta, comprimento do fruto e produtividade por planta de *Capsicum annuum* L. (SUBEDI et al., 2023).

Ao melhorar o ambiente radicular, o carvão vegetal pode contribuir indiretamente para a saúde das plantas e, possivelmente, reduzir os impactos dos fitonematoides, como o *Pratylenchus* spp. Diante disso, a hipótese deste estudo é que o manejo integrado no cultivo da mandioca, reduz a infestação de nematoides patogênicos e promove melhor crescimento das mudas. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar o efeito do manejo integrado da mandioca, por meio da aplicação de carvão vegetal combinado a diferentes genótipos da mandioca, submetida a presença de *Pratylenchus* spp.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Ensaio experimental**

O experimento foi realizado em telado na Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas - BA, regiões geográficas 12°40'24 "latitude sul e longitude oeste 39°06'07", em 220 m de altura. Segundo Köppen e Geiger o clima de Cruz das Almas se encaixa no tipo Af; tropical, quente e úmido, com temperatura média de 23°C e média anual de 1136 mm.

Adotou-se delineamento fatorial  $4 \times 2 \times 2$ , composto por quatro genótipos de mandioca (BRS Formosa, BRS Kiriris, BRS Novo Horizonte e BRS Poti Branca), dois níveis de adição de carvão vegetal (com e sem) e dois níveis de inoculação com nematoides (presença e ausência), totalizando 160 parcelas experimentais.

Os genótipos de mandioca foram obtidos no campo de multiplicação da Embrapa, localizado na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Foram coletadas hastes sadias, as quais foram seccionadas com auxílio de serra automática para obtenção de manivas-semente com 8 cm

de comprimento.

Amostras de solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico (LAd) foi coletada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA, e utilizadas no experimento. As amostras de solo foram submetidas à esterilização em autoclave, acondicionadas em sacos de algodão, a uma temperatura de 120 °C por 40 minutos. Decorridos dez dias após o procedimento, as amostras foram transferidas para vasos de polietileno com volume de 2,2 litros, visando à condução do experimento subsequente. As características químicas foram apresentadas conforme o seguinte resultado: pH (H<sub>2</sub>O): 5,6 ; P: 3 mg dm<sup>-3</sup> ; K: 0,07 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ; Ca: 1,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ; Mg: 0,72 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ; (H+Al): 1,58 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ; Al: 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ; Na: 0,03 ; cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ; SB: 45 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ; CTC: 3,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ; V: 56% ; M.O: 8,0 g Kg<sup>-1</sup>.

O carvão vegetal utilizado neste estudo foi obtido a partir de madeira de eucalipto. Sua caracterização física e química foi realizada conforme metodologia oficial estabelecida pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), seguindo protocolos analíticos reconhecidos e padronizados (Tabela 1). As análises foram conduzidas no Laboratório do Centro de Tecnologia Agropecuária e Ambiental (CAMPO).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do carvão vegetal.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
pH	6,25	Magnésio total	< 0,5
Umidade (65 °C)	8,2%	Matéria orgânica total	22,9%
Carbono orgânico total	62,62%	Cobre	< 0,05
Nitrogênio total	0,27%	Manganês	< 0,05
Potássio total	< 1,0	Ferro	< 0,05
Cálcio total	< 1,0	Enxofre	< 1,0
Fósforo total	< 1,0	CTC	231,92cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>

Os parâmetros físico-químicos foram determinados de acordo com os métodos oficiais estabelecidos na Instrução Normativa SDA/MAPA nº 003/2017. A umidade a 65 °C foi obtida segundo o Cap. III-D1. O pH em CaCl<sub>2</sub> foi determinado conforme o Cap. II-15. A matéria orgânica e o carbono orgânico total foram quantificados pelos métodos descritos nos Cap. III-13 e Cap. III-E13, respectivamente. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi mensurada conforme o Cap. III-15, enquanto o nitrogênio total seguiu o procedimento do

Cap. III-E1.1. A relação C/N foi calculada conforme o Cap. III-6. Os teores de fósforo total ( $P_2O$ ), potássio total ( $K_2O$ ), magnésio (Mg), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), cálcio (Ca) e ferro (Fe) foram determinados conforme capítulos específicos da referida normativa (Cap. I-2.2.1; Cap. I-7; Cap. I-14; Cap. I-10.2; Cap. I-12.1; Cap. I-13.1; Cap. I-8; Cap. I-14). O teor de enxofre ( $SO_4^{2-}$ ) foi determinado segundo o método descrito no Cap. I-C-9.4.1. Todos os resultados foram obtidos seguindo procedimentos padronizados e acreditados conforme exigências do MAPA.

A incorporação do carvão vegetal ao solo previamente esterilizado foi realizada na proporção de 5% em relação ao volume total do vaso (2,2 L), com distribuição homogênea em todo o substrato antes da alocação nos vasos destinados aos tratamentos com adição de carvão. Trinta e cinco dias após essa incorporação, procedeu-se ao plantio das manivas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em posição horizontal, nos respectivos 160 vasos.

Aos 60 dias após o plantio, realizou-se a inoculação dos fitonematoides nos tratamentos destinados à presença do patógeno. Foram aplicados 1.400 indivíduos de *Pratylenchus* spp. por vaso, contemplando todas as fases do ciclo de vida (ovos, juvenis e adultos). Os nematoides foram obtidos junto ao Centro de Multiplicação e Conservação do Laboratório de Nematologia da Embrapa.

Para a inoculação, utilizou-se uma alíquota de 1 mL da suspensão final proveniente da extração dos nematoides, aplicada ao substrato com o auxílio de uma seringa graduada. A suspensão utilizada foi obtida a partir da amostra final resultante do processo de extração dos nematoides, tanto do solo quanto das raízes, seguindo a técnica descrita no protocolo metodológico.

Aos 15 dias após o plantio, foi realizada a avaliação do vigor das plantas por meio de escala visual, considerando: (1) baixo vigor, (2) vigor intermediário e (3) alto vigor.

Aos 90 dias após o plantio, realizaram-se as avaliações biométricas. A altura das plantas (ALT) foi mensurada com auxílio de régua graduada. A massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca de raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) foram determinadas mediante pesagem em balança analítica. O número de hastes (NHASTE) por planta foi avaliado considerando como haste todo broto

principal emitido a partir da maniva que apresentava alongamento e lignificação visível. O volume de raiz (VOLR) foi obtido pelo método de deslocamento de água, utilizando uma proveta com volume previamente padronizado; após a imersão das raízes, o aumento do nível da coluna de água correspondeu ao volume radicular.

Os sintomas de colonização interna e externa das manivas foram avaliados segundo a escala proposta por Santiago et al. (2018). Para a colonização externa, adotou-se: (0) ausência de colonização e (1) presença de colonização. Para a colonização interna, utilizou-se a seguinte classificação: (1) colonização inferior a 1/3 do tecido; (2) colonização entre 1/3 e 2/3 do tecido; e (3) colonização superior a 2/3 do tecido.

No Laboratório de Nematologia da Embrapa, quantificaram-se o número de nematoides no solo (NSOLO) e o número de nematoides nas raízes (NRAIZ), seguindo a metodologia de extração descrita no próximo tópico.

## **2.2. Extração e contagem de *Pratylenchus ssp.* no solo e nas raízes**

A extração dos nematoides no solo e nas raízes foi realizada conforme a técnica de centrifugação e flotação (JENKIS, 1964). O procedimento foi realizado no Laboratório de Fitopatologia (LABFITO) da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Para a extração, as raízes coletadas foram seccionadas em pedaços de aproximadamente 1 cm. Dessas, 10 g foram trituradas em um liquidificador com solução de hipoclorito a 0,05% (20 segundos). A suspensão obtida foi passada por um conjunto de peneiras de malha (60 mesh, 500 mesh) em lavagem com água potável. O sedimento final obtido na peneira (500 mesh) foi retido para um frasco de Becker com capacidade para 100 mL, formando uma única amostra. A amostra foi transferida para tubos de ensaio (10 ml) para pesagem em balança analítica calibrada, obtendo o mesmo volume cada. Posteriormente, ocorreu a centrifugação (homogeneização) por 4 minutos a uma velocidade de 1750 rpm. Os tubos de ensaio foram decantados e o líquido sobrenadante foi retirado e em peneira ocorreu a lavagem com água. A amostra obtida foi transferida para tubos de *Falcon*, e solução de sacarose a 50% (454g de açúcar dissolvidos em 750mL de água) foi adicionada, ocorrendo a

homogeneização com ajuda de um bastão de vidro. A suspensão formada foi centrifugada por 1 minuto a 1750 rpm e o sobrenadante foi recuperado em peneira de 500 mesh. O conteúdo da peneira seguiu para enxague com água para retirar o excesso de sacarose e o material obtido foi transferido para frascos de Becker. Na solução final foram obtidos ovos e juvenis de *Pratylenchus* spp.

Para a extração dos nematoides no solo, foram pesados 100 cm<sup>3</sup> das amostras de solo dos respectivos tratamentos, em balança analítica com auxílio de um frasco de Becker, onde se adicionou 100 mL de água potável, e por meio da desagregação dos torrões se obteve a liberação dos nematoides para a suspensão. O conteúdo em suspensão foi passado por um conjunto de peneiras de malha (60 mesh, 400 mesh) em lavagens seguidas com água potável. E a extração dos nematoides foi realizada conforme a técnica de centrifugação e flotação já descrita anteriormente.

O conteúdo final obtido das amostras das raízes e solo, retido nas peneiras, foi recuperado em água com auxílio de uma pisseta, e transferido para Becker de 500 mL cada, para se realizar a contagem dos nematoides contidos nas respectivas amostras de acordo aos tratamentos. Da suspensão obtida das respectivas amostras, alíquotas (1,0 mL) foram usadas para contagem do número de fitonematoides, com uso de um microscópio óptico eletrônico (lente objetiva Olympus SZST 40x de ampliação). A população final foi cerca de 1400 indivíduos de *Pratylenchus* spp. por 100 cm<sup>3</sup> de solo e 800 indivíduos de *Pratylenchus* spp. por 10 g de raiz.

### **2.3 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste F a 5% de probabilidade para verificar os efeitos principais e as interações entre os fatores avaliados. A comparação das médias foi realizada por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ), com o objetivo de discriminar grupos estatisticamente homogêneos. Os dados referentes a colonização das manivas foram transformados pela escala de Maquicne para atender aos pressupostos de normalidade e

homogeneidade de variâncias. Todas as análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio do software R (versão 4.3.3).

### 3. RESULTADOS

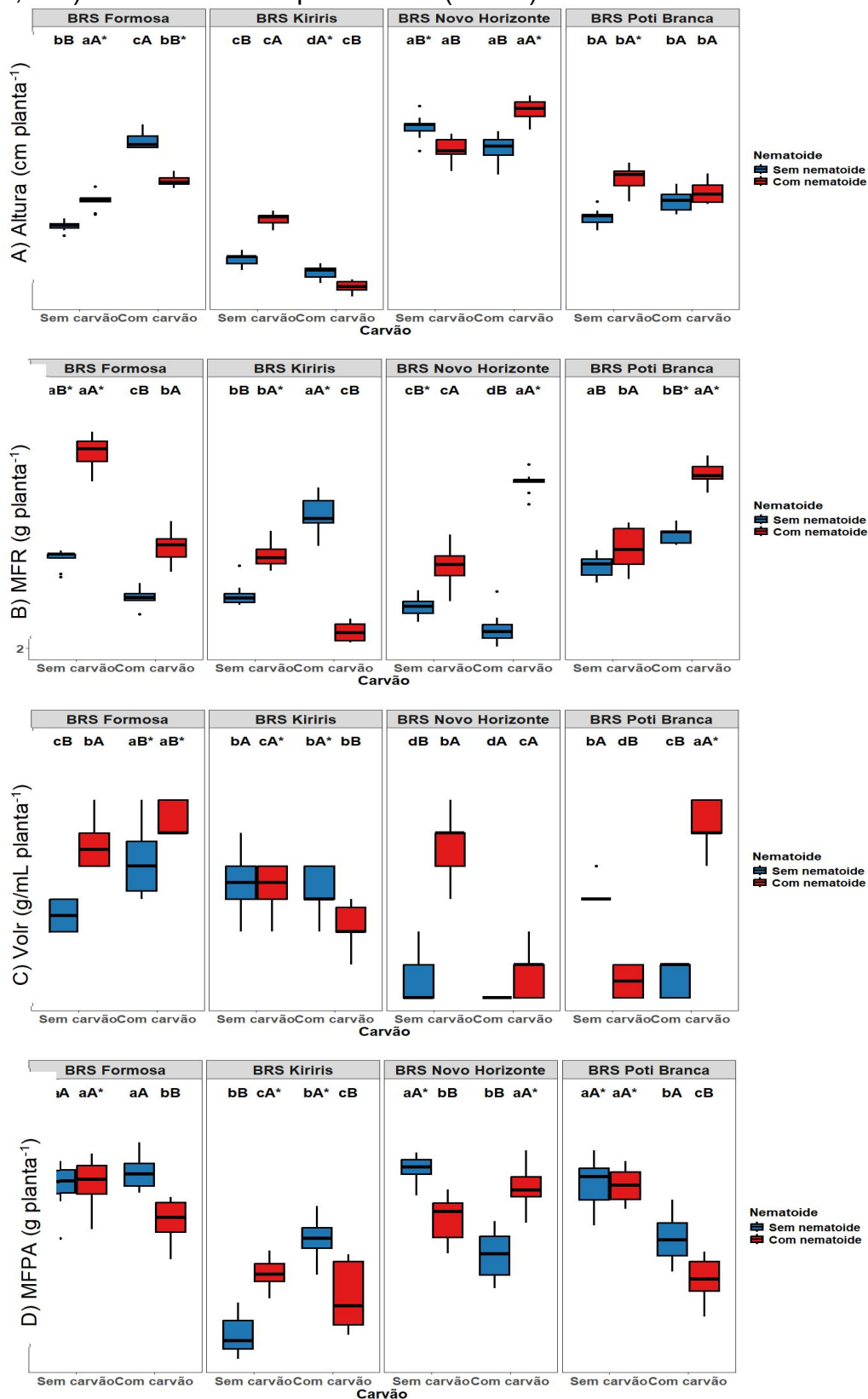
Houve efeito ( $p < 0,05$ ) no desdobramento da interação tripla para as variáveis: altura, massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca de raiz (MFR) e volume de raiz.

O tratamento que apresentou a maior média em altura de plantas na presença da inoculação com nematoides foi Novo Horizonte com carvão e sem carvão vegetal, com valor de 27,08 cm planta<sup>-1</sup>, diferenciando-se estatisticamente dos demais. Na ausência dos nematoides, as maiores médias foram apresentadas para BRS Novo Horizonte sem carvão vegetal, com valor de 25,08 cm planta<sup>-1</sup>, e BRS Formosa com carvão, com valor de 24,07 cm planta<sup>-1</sup>, diferenciando-se dos demais tratamentos (Figura 1).

Ao comparar as médias de altura das mudas dentro de cada genótipo, se observa que com adição de carvão vegetal em presença dos nematoides, os genótipos BRS Kiriris e BRS Formosa apresentaram menor média, em comparação quando receberam a adição de carvão vegetal e ausência da inoculação dos nematoides, com redução de 7,46% e 12,14%, para BRS Kiriris e BRS Formosa, respectivamente. Enquanto que, os genótipos BRS Novo Horizonte BRS e Poti Branca, apresentaram resposta oposta, com maior crescimento vertical quando inoculadas com os nematoides, com incremento de 10,7%, em relação a ausência dos mesmos. Já o genótipo BRS Poti Branca apresentou médias estatisticamente semelhantes, independente da presença e ausência de inoculação do *Pratylenchus* ssp.

Para a MFPA (Figura 1), os genótipos BRS Poti Branca, BRS Kiriris e BRS Formosa, quando cultivados com adição de carvão vegetal e sem nematoides, apresentaram maiores médias de MFPA, em comparação as suas versões com adição do carvão vegetal em presença dos nematoides. Esse incremento foi de 16,4% para BRS Poti Branca, 24,4% para BRS Kiriris, e 15,7% para BRS Formosa. Enquanto que o genótipo BRS Novo Horizonte apresentou resposta diferente, com maior média de MFPA com a adição do

**Figura 1.** Médias e boxplot para o efeito do carvão vegetal (com e sem), inoculação de nematóides (presença; ausência) e genótipos de mandioca, sobre as variáveis: A) altura, B) massa fresca de raiz (MFR), C) volume de raiz, e D) massa fresca da parte aérea (MFPA).



\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, na comparação entre genótipos dentro de cada combinação de nível de carvão e de nematoides. Letras maiúsculas indicam comparações, dentro de cada genótipo e nível de carvão, entre os diferentes níveis de nematoides. O símbolo (\*) indica diferença significativa entre os níveis de carvão dentro do mesmo genótipo e nível de nematoides.

carvão vegetal e presença da inoculação com *Pratylenchus* ssp., com incremento de 23%, em relação ao cultivo sem os nematoides.

Ao comparar a resposta dentro de cada genótipo na presença da inoculação com nematoides e sem a adição do carvão vegetal, se observa incremento de MFPA de 31,8% para BRS Poti Branca, 10,9% para BRS Kiriris e 12,5% para BRS Formosa, em relação as suas versões com adição do condicionador do solo e inoculação de nematoides. Já BRS Novo Horizonte, respondeu de forma positiva à adição do carvão vegetal em presença dos nematoides, apresentando 10,6% em relação ao seu cultivo sem carvão vegetal com nematoides.

Quanto o efeito dos tratamentos sobre a MFR (Figura 1), observou-se que a adição de carvão vegetal combinada com a inoculação de nematoides promoveu maiores médias de MFR para três genótipos, em comparação à condição sem inoculação. Os acréscimos foram de 25,37% para BRS Poti Branca, 31,31% para BRS Formosa e 63,27% para BRS Novo Horizonte. Já a BRS Kiriris apresentou redução de 59,2% na massa fresca de raízes, sob a mesma condição de adição de carvão vegetal associada à inoculação de nematoides.

Ao comparar os genótipos dentro do grupo que recebeu carvão vegetal e inoculação com nematoides, verificou-se que BRS Novo Horizonte e BRS Poti Branca apresentaram as maiores médias de MFR, sendo estatisticamente semelhantes entre si e superiores aos demais tratamentos. Esse incremento correspondeu a aproximadamente 65% em relação à BRS Kiriris e 27,8% em relação à BRS Formosa. De forma oposta, na ausência dos nematoides, o genótipo BRS Formosa apresentou o maior valor de MFR, diferindo dos demais, com aumentos de 46,5% em relação a BRS N. Horizonte, 34,6% em relação a BRS Poti Branca e 8,9% em relação a BRS Kiriris.

Para o volume de raízes (Figura 1), observou-se que os genótipos

BRS Poti Branca e BRS Formosa, quando submetidos ao tratamento com carvão vegetal e inoculação de nematoides, apresentaram valores superiores aos demais genótipos. Já com adição de carvão vegetal, mas ausência da inoculação por *Pratylenchus* spp., BRS Formosa apresentou a maior média, diferindo dos demais genótipos.

Na comparação dentro de cada genótipo, nos tratamentos com adição de carvão vegetal e inoculação de nematoides, verificou-se que tanto BRS Kiriris quanto BRS Novo Horizonte apresentaram incremento no volume de raízes, com aumentos de 13,8% e 36,44%, respectivamente, em relação às suas versões sem a adição de carvão vegetal. De forma oposta, BRS Poti Branca e BRS Formosa, apresentaram maiores médias quando cultivados com o carvão vegetal, com aumentos de 41,6% e 7,9% em relação a sem carvão vegetal e inoculação com nematoides.

Na observação da massa seca de parte aérea (MSPA) e número de hastes (NHASTES) apenas a interação entre os fatores carvão vegetal vs nematoides apresentou significância a ( $p < 0,05$ ).

Quanto a MSPA, observa-se que as mudas de mandioca com carvão vegetal e sem nematoides, ou, sem carvão vegetal e com nematoides apresentaram as maiores médias com valores de MSPA equivalente a (2,13 g planta<sup>-1</sup>) e (1,77 g planta<sup>-1</sup>), respectivamente (Tabela 2).

Esse resultado sugere efeitos compensatórios/antagônicos, em que o benefício do carvão vegetal se manifesta na ausência de nematoides, enquanto que a presença de nematoides só resulta em maior MSPA quando o carvão vegetal não está presente.

Para o número de hastes, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos inoculados com nematoides, independentemente da adição de carvão vegetal, assim como entre os tratamentos não inoculados, com ou sem carvão vegetal. Contudo, verificou-se diferença no tratamento sem carvão vegetal e sem inoculação, o qual apresentou um incremento de 18,75% no número de hastes em comparação ao tratamento sem carvão vegetal e inoculado com nematoides (Tabela 2).

**Tabela 2.** Efeito do carvão vegetal (com; sem) e inoculação de nematoides (presença; ausência) sobre as variáveis: massa seca de parte aérea (MSPA)

e número de hastes (NHASTES), em mudas de mandioca.

CARVÃO VEGETAL	MSPA (g planta <sup>-1</sup> )		NHASTES (hastes g <sup>-1</sup> )	
	NEMATOIDE			
	Presença	Ausência	Presença	Ausência
Com	1,35bB	2,13aA	1,45aA	1,4aA
Sem	1,77aA	1,47bB	1,30aB	1,6aA
CV(%)	18,48		29,57	

\*.Médias seguidas pela mesma letra não, diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Letra minúscula compara níveis de carvão dentro do mesmo nível de nematoide, e letra maiúscula compara níveis de nematoide dentro do mesmo nível de carvão.

Para o número de nematoides no solo (NSOLO) e nas raízes (NRAIZ), observou-se significância ( $p < 0,001$ ) para a interação carvão vegetal vs cultivares ( $p < 0,001$ ), indicando que a densidade do inóculo no solo foi fortemente dependente do ambiente edáfico-biótico e do genótipo.

O carvão vegetal promoveu redução dos nematoides no solo (NSOLO) com decréscimos de 42% em mudas de BRS Novo Horizonte, 40% em BRS Kiriris e 18% em BRS Poti Branca, em relação aos respectivos cultivos dos genótipos sem a adição do carvão. Exceto, para o genótipo BRS Formosa, no qual o uso de carvão resultou em aumento de 37% no (Tabela 3). Esses resultados indicam que, em BRS Novo Horizonte, BRS Poti Branca e BRS Kiriris, o carvão vegetal atuou como agente supressor do inóculo no solo, enquanto que no genótipo BRS Formosa, houve resposta oposta, devido ao efeito da reposta genótipo-dependente e um efeito de interação cruzada, ou seja, o tratamento aumenta a resposta em um genótipo e reduz em outro.

Em relação ao número de nematoides nas raízes (NRAIZ), a adição de carvão vegetal promoveu maior acúmulo de *Pratylenchus* spp. Em mudas do genótipo BRS Poti Branca em comparação aos demais genótipos. Na ausência de carvão, porém, BRS Kiriris apresentou a maior população radicular do patógeno dentre os genótipos avaliados.

**Tabela 3.** Médias do número de nematoides no solo (NSOLO) e nas raízes (NRAIZ) em função da adição de carvão vegetal (com e sem) e diferentes

genótipos de mandioca.

Genótipos	NSOLO (ind. cm <sup>-3</sup> de solo)		NRAIZ (ind. g <sup>-1</sup> raiz)	
	CARVÃO VEGETAL			
	Com	Sem	Com	Sem
BRS Novo Horizonte	1,80bB	3,10aA	1,50bB	2,20cA
BRS Poti Branca	1,73bB	2,11bA	2,82aA	3,18bA
BRS Formosa	2,60aA	1,90cB	1,1bB	1,70dA
BRS Kiriris	1,50bB	2,50bA	1,30bB	6,10aA
<b>CV (%)</b>	33,21		26,14	

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Letra minúscula compara níveis de genótipo dentro do mesmo nível de carvão, e letra maiúscula compara níveis de carvão dentro do mesmo nível de genótipo.

O condicionador carbonáceo atuou como regulador de nematoides fitoparasita no solo (DOMONE et al., et al., 2021) de forma diferenciada por cultivar, indicando que as alterações físico-químicas e microbianas, disponibilidade de nutrientes, indução de resposta de defesa da planta com capacidade fito-hormonal promovidas pelo carvão vegetal, atua na supressão da doença (BONANOMI et al., 2015; FRENKEL et al., 2017) e interação com a tolerância/suscetibilidade varietal do genótipo para definir a trajetória do inóculo.

Além disso, maior quantidade de nematoides no solo, associada a menores populações nas raízes dentro de um mesmo tratamento, pode representar um efeito positivo da planta, pois sugere menor penetração e/ou menor estabelecimento de *Pratylenchus* spp. no tecido radicular, o que pode estar fator decorrente de resistência varietal como secreção de enzimas antinematoides, como protease e quitinase e produção de metabólitos secundários em resposta à infecção, que inibem a eclosão dos ovos, além da resposta induzidas com ativação de defesa com o acúmulo de lignina e calose que reforçam sua parede celular (DHAKSHINAMOORTHY et al., 2014; SATO et al., 2019).

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que a resposta dos genótipos da mandioca à inoculação com *Pratylenchus* spp. e à adição de carvão vegetal é altamente dependente do material genético, reforçando a existência de interação significativa entre genótipo vs manejo do solo vs estresse biótico.

Os genótipos apresentaram respostas diferenciadas quanto as variáveis de crescimento. Na condição de inoculação com nematoides, o genótipo BRS Novo Horizonte apresentou maior crescimento vertical em relação aos demais tratamentos, independentemente, da adição do carvão vegetal. Enquanto que, os genótipos BRS Formosa e BRS Kiriris tiveram redução em altura quando cultivados com o carvão vegetal e nematoides (Figura 1).

Esse resultado sugere que para BRS Novo Horizonte o efeito de genótipo foi dominante sobre o eventual efeito do carvão vegetal em ambiente com alta densidade patogênica, possivelmente devido a maior tolerância ao ataque de *Pratylenchus* spp, o que é coerente com o vigor agrônomico desse genótipo, que apresenta características diferenciadas como, elevado porte e produtividade em diferentes ambientes, sendo recomendadas para regiões secas e quentes (SOUZA; LIMA-PRIMO, 2022). Além disso, materiais carbonáceos podem atenuar o estresse causado por nematoides em certos genótipos, mas podem exercer efeito neutro ou mesmo negativo em genótipos menos responsivos à indução de defesas (FRENKEL et al., 2017; RAWAT et al., 2022).

Quanto a avaliação das variáveis referente ao desenvolvimento radicular, volume de raízes e da massa fresca de raízes (MFR) (Figura 1), observou-se que a adição do carvão vegetal também promoveu respostas distintas, com efeito dependente fortemente do genótipo. Em presença dos nematoides, a adição do carvão vegetal elevou a MFR das mudas dos genótipos BRS Poti Branca e BRS Novo Horizonte, e promoveu acréscimo do volume de raízes em mudas dos genótipos BRS Poti Branca e BRS Formosa, sugerindo potencial controle de nematoides. Entretanto, para os demais genótipos, observou-se uma resposta neutra ou até mesmo uma tendência à redução das médias das variáveis avaliadas.

Os resultados observados são coerentes com os relatados na

literatura, que descrevem que a adição de materiais carbonáceos pode favorecer o desenvolvimento das raízes (BARBOSA et al., 2021; XIANG et al., 2017), promover um aumento do estresse (EDUSSURIYA et al., 2023; RUAN et al., 2024) ou até mesmo causar fitotoxicidade a depender da dose utilizada, especialmente em genótipos sensíveis (MARRA et al., 2018; MARTÍNEZ-GÓMEZ et al., 2023), em que seu efeito varia conforme o genótipo. Dessa forma, avaliações específicas para cada genótipo e condição de cultivo são recomendadas.

Os resultados mostraram que o efeito do carvão vegetal sobre o controle dos nematoides é uma estratégia em potencial, entretanto, sua resposta variou em função do genótipo, indicando forte influência da indução de respostas de defesa do vegetal.

Quanto ao efeito do carvão vegetal no controle dos nematoides, verificou-se uma redução no número de indivíduos no solo no cultivo dos genótipos BRS Novo Horizonte, BRS Kiriris e BRS Poti Branca, enquanto o genótipo BRS Formosa apresentou aumento na população do patógeno (Tabela 3). Jones et al. (2021) relataram que o uso de material carbonáceo pode resultar em respostas dependentes do genótipo, comportamento semelhante ao observado no presente estudo, variando entre efeito supressivo e redução das respostas fisiológicas ou produtivas, conforme o genótipo avaliado.

Em relação ao número de nematoides nas raízes, houve redução em todos os genótipos com a adição do carvão vegetal, com destaque para BRS Kiriris, que apresentou uma redução equivalente a 78% (Tabela 3). Diferentes espécie vegetais podem responder a presença de nematoides parasitas bloqueando sua penetração e movimentação no sistema radicular, por meio de deposição de lignina e suberina na endoderme (HOLBEIN et al., 2019).

Genótipos com maior capacidade de ativar respostas de defesas como, a indução de vias hormonais, produção de metabólitos secundários (ARRAES et al., 2022; IACOMINO et al., 2022; OKUBARA et al., 2024) ativação de genes de defesa e enzimas antioxidantes (DESMEDT et al., 2020; HUANG et al., 2015) apresentam supressão mais eficiente frente a presença de nematoides, após aplicação de material de origem carbonácea, haja vista que esses materiais podem ativar vias hormonais relacionadas à resistência

(como etileno e ácido jasmônico), além de estimular a produção de compostos fenólicos, lignificação e aumento da deposição de calose na parede celular (HUANG et al., 2015; EL-NAGGAR et al., 2020).

Um aspecto relevante a ser considerado refere-se às características físico-químicas do carvão vegetal utilizado neste estudo, as quais influenciaram tanto o crescimento das mudas quanto a população de *Pratylenchus spp.*, resultando em respostas dependentes do genótipo avaliado.

Com base na caracterização, o carvão vegetal apresentou pH ácido, alto carbono orgânico total e CTC elevada, essas características tendem a dificultar o desenvolvimento de patógenos, devido pH ácido modular a diversidade microbiana, favorecendo microrganismos benéficos (ZHANG et al., 2021; WANG et al., 2020), enquanto que maior aporte de carbono estimula o crescimento da microbiota que favorecem o crescimento vegetal (IDBELLA et al., 2024; ELKHLIFI et al., 2023; JOSEPH et al., 2021). Além disso, CTC elevada, como a observada, retém os nutrientes e reduz perdas, favorecendo a supressão de fitopatógenos edáficos (HUANG et al., 2023; ZHANG et al., 2021).

Associado a isso, os teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes apresentaram-se baixos ( $<1 \text{ mg g}^{-1}$ ), o que sugere que seu efeito não está relacionado diretamente à fertilidade do solo ou à nutrição das mudas, mas à sua capacidade de modificar e estruturar o solo, promovendo maior desenvolvimento das raízes e melhor habitat para a microbiota benéfica, devido promover maior porosidade, menor compactação, maior retenção de água (HOSSAIN et al., 2020; REVELLI et al., 2022; ZHU et al., 2025), além de reduzir perdas de nutrientes por lixiviação (FORNES et al., 2024; KURYNTSEVE et al., 2023) o que reflete em melhor desenvolvimento das mudas e à eficiência do uso de fertilizantes.

Dessa forma, as características do carvão vegetal utilizado auxiliam na explicação dos resultados observados, tanto sobre o crescimento das mudas quanto ao controle de *Pratylenchus spp.*

Os resultados indicam que, o principal efeito do carvão vegetal esteve relacionado a capacidade de promover indução de defesa das mudas frente a presença de inoculação dos nematoides, como também ao seu efeito

condicionador do solo, podendo ser ajustado ao contexto fitossanitário da mandiocultura. Contudo, seu potencial efeito supressor sobre *Pratylenchus* spp. é fortemente dependente da capacidade do genótipo em ativar mecanismos de defesa. Diante do exposto, é recomendada a adição do carvão vegetal no manejo integrado de *Pratylenchus* spp, considerando validar esses resultados para à seleção de genótipos responsivos, dose aplicada e época de incorporação do material ao solo (DOMENE et al., 2021; VAN SINH et al., 2022).

## 5. CONCLUSÃO

A adição do carvão vegetal demonstrou potencial efeito para o manejo de *Pratylenchus* spp. no cultivo da mandioca, com efeito distinto entre os genótipos. O número de nematoides do solo cultivado com os genótipos BRS Novo Horizonte, BRS Poti Branca e BRS Kiriris foi reduzido pela presença do carvão, enquanto no genótipo BRS Formosa houve aumento da população. O número de nematoides nas raízes das mudas de BRS Novo Horizonte e BRS Formosa foi reduzido pela adição do carvão vegetal.

O manejo integrado de nematoides na mandiocultura representa uma estratégia promissora, cujo efeito do carvão vegetal se configura como ferramenta potencial capaz de modular a pressão de *Pratylenchus* spp., mas sua aplicação deve ser estudada, de modo a considerar fatores para cada cultivar (dose e época de incorporação ao solo), visando futura adoção nos sistemas de cultivos.

## 6. REFERENCIAS

ARRAES, F. B. M.; NETO, H. T.; SANTOS, A. A.; CUNHA, C. R.; LIMA, W.; SILVA, J. C.; MOURA, R. Integrated omic approaches reveal molecular mechanisms of tolerance during soybean and *Meloidogyne incognita* interactions. **Plants**, v. 11, p. 2744, 2022. DOI: 10.3390/plants11202744.

ARRAES, F.; VASQUEZ, D.; TAHIR, M.; PINHEIRO, D.; FAHEEM, M.; FREITAS-ALVES, N.; MOREIRA-PINTO, C.; MOREIRA, V.; PAES-DE-MELO, B.; LISEI-DE-SÁ, M.; MORGANTE, C.; MOTA, A.; LOURENÇO-TESSUTTI, I.; TOGAWA, R.; GRYNBERG, P.; FRAGOSO, R.; DE ALMEIDA-ENGLER, J.; LARSEN, M.; GROSSI-DE-SÁ, M. Integrated omic approaches reveal

molecular mechanisms of tolerance during soybean and *Meloidogyne incognita* interactions. **Plants**, v. 11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11202744>.

ASIRIFI, I., MAKAROWSKY, L., HEINZE, S., HERRE, M., WERNER, S., FRIMPONG, K., PIERBURG, R., & MARSCHNER, B. (2025). Biochar and Kitchen Stove Ash for Improving Nutrient Availability and Microbial Functions of Tropical Acidic Soil. **Soil Systems**. <https://doi.org/10.3390/soilsystems9020049>.

BAI, S.H.; REVERCHON, F.; XU, C.Y.; XU, Z.; BLUMFIELD, T. J.; ZHAO, H.; VAN ZWIETEN, L.; WALLACE, H.M. Wood biochar increases nitrogen retention in field settings mainly through abiotic processes. *Soil Biol. Biochem.* v. 90, p. 232–240, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.08.007>

BAKARE M. A.; KAYONDO S. I.; AGHOGHO C. I.; WOLFE, M. D.; PARKES, E. Y.; KULAKOW, P.; EGESI, C.; JANNINK, J. L.; RABBI, I. Y. Parsimonious genotype by environment interaction covariance models for cassava (*Manihot esculenta*) *Front. Plant Science*, v.13, p. 978248, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.978248>

BARBOSA, D., BARBOSA, E., MOLINARI, M., PAGLIARINI, R., MARIN, S., MARIN, D., MERTZ-HENNING, L., & NEPOMUCENO, A. (2022). Activated charcoal added to tissue culture media increases genotype-dependent biomass production in soybean. **Agronomy Science and Biotechnology**. <https://doi.org/10.33158/asb.r156.v8.2022>.

BARBOSA, P.; FARIA, J. M. S.; CAVACO, T.; FIGUEIREDO, A. C.; MOTA, M.; VICENTE, C. S. L. Nematicidal Activity of Phytochemicals against the Root-Lesion Nematode *Pratylenchus penetrans*. **Plants**, v. 13, n. 5, p. 726, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13050726>

BIEDERMAN, L. A.; HARPOLE, W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 202-214, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>

BONANOMI, G.; IANNUCCI, A.; BARONE, C.; SOFO, A.; ZUCCARINO, P. Biochar as plant disease suppressive agent: State of art and future perspectives. **Crop Protection**, v. 74, p. 77-90, 2015. DOI: [10.1016/j.cropro.2015.04.003](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.04.003).

BORKU, A. W. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz): insights sobre sua composição nutricional para futuras pesquisas e desenvolvimento na Etiópia. **Discov Sustain**, v. 6, p. 404, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00996-2>

BRIDGE, J.; COYNE, D. L.; KWOSEH. Nematode Parasites of Tropical Root and Tuber Crops (Excluding Potatoes). **Plant Parasitic Nematodes in**

**Subtropical and Tropical Agriculture**, 2nd Edition (eds M. Luc, R.A. Sikora, J. Bridge), p. 221-258, 2005.

CASTILHO, P.; CORTÈS, J. A. N.; LANDA, B. B.; JIMÈNEZ-DÍAZ, R. M.; VOVLAS, N. Plant-Parasitic Nematodes Attacking Chickpea and Their In Planta Interactions with Rhizobia and Phytopathogenic Fungi. **Plant Disease**, v. 92, n. 6, p. 840-853, 2008.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management. **K Brill Academic Publishers, Leiden, Netherlands**. 2007, 555p.1.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): diagnosis, biology, pathogenicity and management (Vol. 6). **Brill**, 2007.

ČEPULYTĖ, R.; DANQUAH, W. B.; BRUENING, G.; WILLIAMSON, V. M. Potent Attractant for Root-Knot Nematodes in Exudates from Seedling Root Tips of Two Host Species. **Scientific Reports**, v. 8, p. 10847, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29165-4>

CHEN, L.; LIU, Y. The Function of Root Exudates in the Root Colonization by Beneficial Soil Rhizobacteria. **Biology**, v. 13, n. 2, p. 95, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13020095>

DAI, Y.; ZHENG, H.; JIANG, Z.; XING, B. Combined effects of biochar properties and soil conditions on plant growth: A meta-analysis. **Science of The Total Environment**, v. 713, p. 136635, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136635>

DAI, Z.; MENG, J.; BAI, Y.; ZHANG, S.; SANCHEZ-MONEDERO, M.; XIAO, R.; LIU, X.; LI, L.; BROOKES, P. C.; XU, J. Association of biochar properties with changes in soil bacterial, fungal and fauna communities and nutrient cycling processes. **Biochar**, v. 3, p. 239-254, 2021. DOI: [10.1007/s42773-021-00099-x](https://doi.org/10.1007/s42773-021-00099-x).

DESMEDT, W.; MANGELINCKX, S.; KYNDT, T.; VANHOLME, B. A phytochemical perspective on plant defense against nematodes. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.602079>.

DHAKSHINAMOORTHY, S.; MARIAMA K.; ELSEEN A.; DE WAELE D. Phenols and lignin are involved in the defence response of banana (*Musa*) plants to *Radopholus similis* infection. **Nematology**, v. 16, p. 565–576, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1163/15685411-00002788>

DING, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; LI, Z.; TAN, X.; HUANG, X.; ZENG, G.; ZHENG, B. Biochar to improve soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable**, v. 36, n. 36, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>

DOMENE, X.; et al. Biochar addition rate determines contrasting shifts in soil nematode trophic groups in an agroecosystem. **Journal of Environmental Management**, v. 285, p. 112024, 2021. DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.112024](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112024)

DOMONE, X.; MATTANA, S.; SÁNCHEZ-MORENO, S. Biochar addition rate determines contrasting shifts in soil nematode trophic groups in outdoor mesocosms: An appraisal of underlying mechanisms. **Applied Soil Ecology**, v. 158, p. 103788, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103788>

EDUSSURIYA, R.; PADMINI, S.; KARIYAWASAM, G.; RANATHUNGA, N. Influence of biochar on growth of root and tuber crops and controlling plant-parasitic nematodes. **Biochar**, v. 5, p. 1-15, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00261-7>.

EDUSSURIYA, R.; RAJAPAKSHA, A.; JAYASINGHE, C.; PATHIRANA, C.; VITHANAGE, M. Influence of biochar on growth performance, yield of root and tuber crops and controlling plant-parasitic nematodes. **Biochar**, v. 5, p. 1–15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00261-7>.

ELAD, Y.; DAVID, D. R.; HAREL, Y. M.; BORENSHTEIN, M.; KALIFA, H. B.; SILBER, A.; GRABER, E. R. Induction of Systemic Resistance in Plants by Biochar, a Soil-Applied Carbon Sequestering Agent. **APS Online Publications**, v. 100, n. 9, p. 913-921, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-9-0913>

ELKHLIFI, Z.; BENRAHAL, A.; LAGLAOUI, A.; LOTFI, E.; AIT LAHSEN, A.; NOUREDDINE, H. Potential role of biochar on capturing soil nutrients, carbon sequestration and managing environmental challenges: A review. **Sustainability**, v. 15, p. 2527, 2023. DOI: [10.3390/su15032527](https://doi.org/10.3390/su15032527).

EL-NAGGAR, A. H. et al. Biochar application to soils: A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and ecosystem services. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, p. 3611–3628, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02602-1>.

EL-SAADONY, M. T.; ABULJADAYEL, D. A.; SHAFI, M. E.; ALBAQAMI, N. M.; DESOKY, E. S. M.; EL-TAHAN, A. M.; MESISHA, P. K.; ELNAHAL, A. S. M.; ALMAKAS, A.; TAHA, A. E.; ABD EL-MAGEED, T. A.; HASSANIM, A. H.; ELRYS, A. S.; SAAD, A. M. Control of foliar phytoparasitic nematodes through sustainable natural materials: Current progress and challenges. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 12, p. 7314-7326, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.035>

FANG, X.; YOU, M. P.; BARBETTI, M. J. Reduced severity and impact of Fusarium wilt on strawberry by manipulation of soil pH, soil organic amendments and crop rotation. **European journal of plant pathology**, v. 134, n. 3, p. 619–629, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0042-1>

FERRIS, H.; VENETTE, R. C.; SCOW, K. M. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. **Applied Soil Ecology**, v. 25, n. 1, p. 19-35, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.07.001>

FORNES, F.; GARCÍA-AGUILAR, S.; BELDA, R. M.; LÓPEZ-GALARZA, S.; PÉREZ-PÉREZ, J. G. Soil fertility and plant nutrition in an organic olive orchard after 5 years of amendment with compost, biochar or their blend. **Scientific Reports**, v. 14, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-67565-x.

FRENKEL, O.; LEIFELD, J.; HOLLMANN, J.; CORNEJO, H.; CARVER, A.; GRUBER, S.; ITINSON, N. The effect of biochar on plant diseases: What should we learn while designing biochar substrates? **Journal of Environmental Quality**, v. 46, n. 1, p. 35-44, 2017. DOI: 10.2134/jeq2016.07.0251.

FUKUDA, W. M. G.; DE OLIVEIRA, S.; IGLESIAS, C. Cassava breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 617–638, 2002. DOI: <https://doi.org/10.12702/1984-7033.v02n04a18>

GAO, Y.; WANG, H.; YANG, F.; DAI, X.; MENG, S.; HU, M.; KOU, L.; FU, X. Relationships between root exudation and root morphological and architectural traits vary with growing season. **Tree Physiology**, v. 44, n. 1, p. 118, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpad118>

GEBREMIKAEL, M.; STEEL, H.; BUCHAN, D.; BERT, W.; NEVE, S. Nematodes enhance plant growth and nutrient uptake under C and N-rich conditions. **Scientific Reports**, v. 6, p. 32862, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep32862>

GEORGE, C.; KOHLER, J.; RILLIG, M. C. Biochars reduce infection rates of the root-lesion nematode *Pratylenchus penetrans* and associated biomass loss in carrot. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 95, p. 11-18, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.12.003>

GHORBANI, R.; WILCOCKSON, S.; KOOCHEKI, A.; LEIFERT, C. Soil management for sustainable crop disease control: a review. **Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants**, p. 177–201, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-008-0147-0>

HOLBEIN, J. et al. Breaking or sneaking into the fortress: the root endodermis is a defence wall against nematode infection. **The Plant Journal**, v. 98, n. 5, p. 759-773, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.14540>

HOSSAIN, M. K.; BAHAR, M. M.; SARKAR, B.; DONNE, S. W.; OK, Y. S.; PALANSOORIYA, K. N.; KIRKHAM, M. B.; CHOWDHURY, S.; BOLAN, N. S. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. **Biochar**, v. 2, p. 379-420, 2020. DOI: 10.1007/s42773-020-00065-z.

HOSSEINI BAI S., XU C.Y., XU Z., BLUMFIELD T.J., ZHAO H., WALLACE H., REVerchon F., Van Zwieten L. Soil and foliar nutrient and nitrogen isotope composition ( $\delta^{15}\text{N}$ ) at 5 years after poultry litter and green waste biochar amendment in a macadamia orchard. **Environ. Sci. Pollut. Control Ser.**, v. 22, n. 5, .

HUANG, K., LI, M., LI, R., RASUL, F., SHAHZAD, S., WU, C., SHAO, J., HUANG, G., LI, R., ALMARI, S., HASHEM, M., & AAMER, M. Soil acidification

and salinity: the importance of biochar application to agricultural soils. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, (2023). <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1206820>.

HUANG, K.; JIANG, Z.; LI, S.; REN, L.; ZHAO, J. Soil acidification and salinity: The importance of biochar application to agricultural soils. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1206820.

HUANG, W.; WANG, W.; WU, X.; ZOU, L.; CHEN, J.; LI, Z. Biochar-amended potting medium reduces the susceptibility of rice to root-knot nematode infections. **BMC Plant Biology**, v. 15, p. 267, 2015. DOI: 10.1186/s12870-015-0654-7.

HUG J. J.; KRUG D.; MÜLLER R. Bacteria as Genetically Programmable Producers of Bioactive Natural Products. **Nature Reviews Chemistry**, v. 4, p. 172–193, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41570-020-0176-1>.

IACOMINO, G.; SOFO, A.; FANELLI, V.; SCOPA, A.; COZZOLINO, V. The suppressive effects of biochar on above- and belowground plant pathogens and pests. **Plants**, v. 11, p. 3144, 2022. DOI: 10.3390/plants11223144.

IDBELLA, M., BARONTI, S., GIAGNONI, L., RENELLA, G., BECAGLI, M., CARDELLI, R., MAIENZA, A., VACCARI, F., & BONANOMI, G. (2024). Long-term effects of biochar on soil chemistry, biochemistry, and microbiota: Results from a 10-year field vineyard experiment. **Applied Soil Ecology**. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105217>.

IGWE, D. O. Diseases of cassava. In: Handbook of Vegetable and Herb Diseases. Cham: **Springer International Publishing**, 2023. p. 1-37. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35512-8\\_31-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35512-8_31-1)

IRSHAD, U.; VILLENAVE, C.; BRAUMAN, A.; CLAUDE, P. Grazing by nematodes on rhizosphere bacteria enhances nitrate and phosphorus availability to *Pinus pinaster* seedlings. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 43, n. 10, p. 2121-2126, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.06.015>

JEFFERY, S. et al. The effect of biochar on soil pH, plant available nutrients and enzyme activity. **Science of the Total Environment**, v. 563–564, p. 263–270, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.111>.

JEFFERY, S.; JONES, D. L. et al. Biochar-induced changes in soil properties and soil biota: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 308, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107236>.

JINDO, K.; AUDETTE, Y.; HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; AKASHI, K.; MASTROLONARDO, G.; SÁNCHEZ-MONEDRO, M. A.; MONDINI, C. Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 1: A review of the biochar roles in soil N, P and K cycles. *Chem. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 7, n. 15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00182-8>

JONES, D. L.; REES, R. M.; REAY, D. S.; PAN, G. Biochar-induced changes in soil properties and soil biota: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 308, p. 107-236, 2021. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107236.

JOSEPH, S., COWIE, A., VAN ZWIETEN, L., BOLAN, N., BUDAI, A., BUSS, W., CAYUELA, M., GRABER, E., IPPOLITO, J., KUZYAKOV, Y., LUO, Y., OK, Y., PALANSOORIYA, K., SHEPHERD, J., STEPHENS, S., WENG, Z., & LEHMANN, J. How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*, 13, 1731-1764, 2021. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12885>.

KENGGANNA, J.; JAKAEW, P.; AMAWAN, S.; BUSENER, N.; BUCKSCH, A.; SAENGWILAI, P. Phenotypic variation of cassava root traits and their responses to drought. Applications in *Plant Sciences*, 7, n. 4, p. e01238, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/aps3.1238>

KHAN, S.; IRSHAD, S.; MEHMOOD, K.; HASNAIN, Z.; NAWAZ, M.; RAIS, A.; GUL, S.; WAHID, M. A.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F.; IBRAR, D. Biochar Production and Characteristics, Its Impacts on Soil Health, Crop Production, and Yield Enhancement: A Review. *Plants*, v. 13, n. 2, p. 166, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13020166>

KOLOMBIA, Y. A.; FABIYI, O. A. Nematode problems in tuber crops and their sustainable management. In: *Nematode Diseases of Crops and their Sustainable Management*. **Academic Press**, 2023. p. 251-278. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91226-6.00023-7>

KOLTON, M.; GRABER, E. R.; TSEHANSKY, L.; ELAD, Y.; CYTRYN, E. Biochar-stimulated plant performance is strongly linked to microbial diversity and metabolic potential in the rhizosphere. *New Phytol*, v. 213, n. 3, p. 1393-1404, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14253>

KUR YNTSEVA, Biochar Functions in Soil Depending on Feedstock and Pyrolyzation Properties with Particular Emphasis on Biological Properties. *Agriculture*.v. 13, p. 2003, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13102003.

LAIRD, D. A.; BROWN, R. C.; AIELLO, J. L.; MAZZARELLI, A. L. Impact of biochar amendments on soil quality. *Geoderma*, v. 158, p. 443-449, 2010. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.05.013.

LEHMANN J., GAUNT J., RONDON M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - a review. *Mitig. Adapt. Strategies Glob. Change*, v. 11, p.403-427, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. 2. ed. London: **Earthscan**, 2015.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Oxfordshire: **Routledge**; 2012.

LEHMANN. J. Bio-energy in the black. *Front. Ecol. Environ.* v. 5, n. 7, p.

381–387, 2007. Doi: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5).

LI, H.; LI, Y.; XU, Y.; LU, X. Biochar phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus availability, **Chemosphere**, v. 244, p. 125471, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125471>

LIANG, C. C.; TZENG, Y. P.; CHEN, P. C. First Report of a Root Lesion Nematode (*Pratylenchus brachyurus*) on Cassava in Taiwan. **Plant Disease**, v. 107, n. 7, p. 2264, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-22-1946-PDN>

LIU, M.; KEA, X.; LIU, X.; FAN, X.; XUC, Y.; LI, L.; SOLAIMAN, Z. M.; PAN, G. The effects of biochar soil amendment on rice growth may vary greatly with rice genotypes. **Science of The Total Environment**, v. 810, p. 152223, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152223>

LIU, M.; LIN, Z.; KE, X.; FAN, X.; JOSEPH, S.; TAHERYMOOSAVI, S.; LIU, X.; BIAN, R.; SOLAIMAN, Z. M.; LI, L.; PAN, G. Rice Seedling Growth Promotion by Biochar Varies With Genotypes and Application Dosages. **Front Plant Science**, v. 12, p. 580462, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.580462>

MARRA, R.; NICOLIA, A.; LOPES, M.; GUERRIERI, M.; BAGLIO, G.; ZAPPIA, A. Biochars from olive mill waste have contrasting effects on plants, fungi and phytoparasitic nematodes. **PLOS ONE**, v. 13, e0198728, 2018. DOI: [10.1371/journal.pone.0198728](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198728).

MARTÍNEZ-GÓMEZ, Á.; SALGADO-BIANCHI, O.; JARAMILLO-LEAL, J.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J.; MADRID-HERRERA, P. Biochar from grape pomace influences carbon mineralization and microbial communities. **Biochar**, v. 5, p. 1-23, 2023. DOI: [10.1007/s42773-023-00228-8](https://doi.org/10.1007/s42773-023-00228-8).

MATOS, P. L. P. et al. *Oryza glumaepatula*, a new source of resistance to *Meloidogyne graminicola* and histological characterization of its defense mechanisms. **Phytopathology**, v. 109, n. 6, p. 958-965, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-19-0044-R>

MEKURIA, W.; NOBLE, A. The role of biochar in ameliorating disturbed soils and sequestering soil carbon in tropical agricultural production systems. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, n. 1, p. 354965, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/354965>

MEYER, K. Factor-analytic models for genotype x environment type problems and structured covariance matrices. **Genetics Selection Evolution**, v. 41, n. 21, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1186/1297-9686-41-21>

MIELKE, L.; TAUBERT, M.; CESARZ, S.; RUESS, L.; KÜSEL, K.; GLEIXNER, G.; LANGE, M. Nematode grazing increases the allocation of plant-derived carbon to soil bacteria and saprophytic fungi, and activates bacterial species of the rhizosphere. **Pedobiologia**, v. 90, p. 150787, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150787>

NASCIMENTO, J. H. B.; ANDRADE, L. R. B.; OLIVEIRA, S. A. S.; OLIVEIRA, E. J. Phenotypic Variability in Resistance to Anthracnose, White, Brown, and Blight Leaf Spot in Cassava Germplasm. **Plants**, v. 13, n. 9, p. 1187, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13091187>

NEGI, S.; TAK, H.; BHAKTA, S.; TIWARI, M.; GANAPATHI, T. R.; SINGH, S.; BALLAL, A. A novel approach to enhance resistance to vascular disease by expressing cell-death-inducing fungal elicitors in the xylem tissue. **Plant Biotechnology Journal**, v. 23, n. 8, p. 3283-3299, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.70131>

NELISSEN, V.; HUYGENS, D.; RYSSCHAERT, G. Temporal evolution of biochar's impact on soil nitrogen processes – a <sup>15</sup>N tracing study. **GCB Bioenergy**, v. 7, n. 4, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12156>

NELISSEN, V.; RÜTTING, T.; HUYGENS, D.; STAELENS, J.; RUYSSCHAERT, G.; BOECKX, P. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 55, p. 20-27, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.05.019>

NGATIA, L. W.; GRACE, J. M.; MORIASI, D.; BOLQUES, A.; OSEI, G. K.; TAYLOR, R. W. Biochar Phosphorus Sorption/Desorption: Potential Phosphorus Eutrophication Mitigation Strategy. **Southern Research Station**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.82092>

NOMURA, R. B. G.; LOPES-CAITAR, V. S.; HISHINUMA-SILVA, S. M.; MACHADO, A. C. Z.; MEYER, M. C.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C. *Pratylenchus brachyurus*: status and perspectives in Brazilian agriculture. **Tropical Plant Pathology**, v. 49, n. 5, p. 573-589, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40858-024-00669-x>

OKUBARA, P. A.; ANDERSON, C. L.; GIMARET, K. E.; HANSEN, J.; BOGEN, K.; BROMLEY, J.; PAULITZ, T. Differential induction of defense genes in hexaploid wheat roots by the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus neglectus* and *P. thornei*. **PLOS ONE**, v. 19, e0306533, 2024. DOI: [10.1371/journal.pone.0306533](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306533).

OKUBARA, P., SHARPE, R., PEETZ, A., LI, X., & ZASADA, I. (2024). Differential induction of defense genes in hexaploid wheat roots by the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus neglectus* and *P. thornei*. **PLOS ONE**, v. 19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306533>.

OLMO, R.; CABRERA, J.; DÍAZ-MANZANO, F. E.; RUIZ-FERRER, V.; BARCALA, M.; ISHIDA, T.; GARCÍA, A.; ANDRÉS, M. F.; RUIZ-LARA, S.; VERDUGO, I.; PERNAS, M.; FUKAKI, H.; POZO, J. C. D.; MORENO-RISUENO, M. A.; KYNDT, T.; GHEYSEN, G.; FENOLL, C.; SAWA, S.; ESCOBAR, C. Root-knot nematodes induce gall formation by recruiting developmental pathways of post-embryonic organogenesis and regeneration to promote transient pluripotency. **New Phytologist Foundation**, v. 227, n. 1, p. 200-215, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16521>

ONWUACHUSI, G. L.; OBIAKOR, O. B.; UMEANAETO, P. U.; IRIKANNU, K.

C.; ELOSIUBA, N. V.; ANIEFUNA, C. O.; NZEUKWU, C. I.; OBIEFULE, I. E. Parasitic nematodes of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in farmlands at amowelle-amansae, southeast, Nigeria. **The Bioscientist Journal**, v.11, n. 1, p. 81-89, 2023.

PHONCHAROEN, P.; BANTERNG, P.; VORASOOT, N.; JOGLOY, S.; THEERAKULPISUT, P. Determination of Cassava Leaf Area for Breeding Programs. **Agronomy**, v. 12, n. 12, p. 3013, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123013>

POORTER, H.; NIKLAS, K.; REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytol**, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>.

POTTER, J. W.; DIRKS, V. A.; JOHNSON, P. W.; OLTHOF, T.; LAYANE, R.; McDONELL, M. M. Response of Peach Seedlings to Infection by the Root Lesion Nematode *Pratylenchus penetrans* under Controlled Conditions. **Journal of Nematology**, v. 16, n. 3, p. 317–322, 1984.

RAWAT, J.; MIMA, S.; MOHAN, M. Biochar improves plant performance under biotic stress: A comprehensive review. **Plant and Soil**, v. 474, p. 173-196, 2022. DOI: [10.1007/s11104-022-05571-5](https://doi.org/10.1007/s11104-022-05571-5).

Ruan, R., & Wang, Y. (2024). Effects of biochar amendment on root growth and plant water status depend on maize genotypes. **Agricultural Water Management**. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108688>.

RUAN, R.; WANG, Y. Effects of biochar amendment on root growth and plant water status depend on maize genotypes. **Agricultural Water Management**, v. 293, p. 108688, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108688>

SAMPAIO FILHO, J. S.; OLIVOTO, T.; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, E. J. Multi-trait selection in multi-environments for performance and stability in cassava genotypes. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1282221. DOI: [10.3389/fpls.2023.1282221](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1282221)

SANDOVAL-RUIZ, R.; GÓMEZ-ALPÍZAR, L.; HUMPHREYS-PEREIRA, D. A.; FLORES-CHAVES, L. Molecular identification of root-lesion nematodes, *Pratylenchus* spp. in agricultural crops from Costa Rica. **Agronomía Mesoamericana**, p. 49445-49445, 2023.

SANTOS, C. C.; ANDRADE, L. R. B.; CARMO, C. D.; OLIVEIRA, E. J. The Development of Thematic Core Collections in Cassava Based on Yield, Disease Resistance, and Root Quality Traits. **Plants**, v. 12, n. 19, p. 3474, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12193474>

SANTOS, T. F. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, S. A.; FERREIRA, P. A.; MENEGHETTI, L. A. M.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, C. Z. Plant ash associated with liming can help the management of *Pratylenchus brachyurus* in *Phaseolus vulgaris*. **Tropical Plant Pathology**, v. 50, n. 60, 2025. <https://doi.org/10.1007/s40858-025-00750-z>

SATO, K.; KADOTA, y.; SHIRASU, K. Plant Immune Responses to Parasitic Nematodes. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1165, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01165>

SHIGAKI T. Mandioca: natureza e usos. EUA: **Elsevier eBooks**; 2015. p. 687–93.

SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. **Functional Ecology**, v. 16, n. 3, p. 326-331, 2002.

SILVA, J. M. D.; MEDEIROS, E. V. D.; DUDA, G. P.; BARROS, J. A. D.; SANTOS, U. J. D Fames and microbial activities involved in the suppression of cassava root rot by organic matter. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 708–717, 2017. <https://doi.org/10.1590/198321252017v30n319rc>

SOUSA, M. C. P.; DIAMANTINO, M. S. A. S.; HOHENFELD, C. S. VIDAL, C. B. M.; OLIVEIRA, S. A. S. Effect of cover crops on the suppressiveness of root rot and on the agronomic performance of cassava. **European Journal of Plant Pathology**, v. 170, p. 649–667, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02925-x>

SOUZA, E. D.; LIMA-PRIMO, H. E. BRS Novo Horizonte: Cultivar de Mandioca de Indústria Indicada para Plantio em Roraima. Comunicado técnico 98, **Embrapa**, p. 1-6, 2022.

ST MARTIN, C. C. G.; RAMSUBHAG, A. Potential of compost for suppressing plant diseases. Natural products for sustainable crop disease management. **CAB International, Wallingford**, p. 345–388, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20149032>

SUBEDI, P.; BHATTARAI, P.; LAMICHHANE, B.; KHANAL, A.; SHRESTHA, J. Effect of different levels of nitrogen and charcoal on growth and yield traits of chili (*Capsicum annuum* L.). **Helion**, v. 9, n. 2, p. e13353. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13353>

Tadele, D., & Adgo, E. (2024). In situ charcoal production in *Acacia decurrens*-based taungya system improved soil properties and productivity of three agricultural crops in the highlands of Ethiopia. **Soil Use and Management**, 40. <https://doi.org/10.1111/sum.13032>.

THOMPSON, J.; CLEWETT, T. Impacts of Root-Lesion Nematode (*Pratylenchus thornei*) on Plant Nutrition, Biomass, Grain Yield and Yield Components of Susceptible/Intolerant Wheat Cultivars Determined by Nematicide Applications. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020296>

VAN SINH, N.; et al. Influence of Rice Husk Biochar on Soil Nematode Communities. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 378, 2022. DOI: [10.3390/agronomy12020378](https://doi.org/10.3390/agronomy12020378)

VRAIN, T. C.; BELAIR, G. Symptoms induced by the lesion nematode, *Pratylenchus penetrans* on carrot taproots in organic soil. **Phytoprotection**, v. 62, n. 2, p. 79-81,1981.

WANG, W., WANG, Z., YANG, K., WANG, P., WANG, H., GUO, L., ZHU, S., ZHU, Y., & HE, X. Biochar Application Alleviated Negative Plant-Soil Feedback by Modifying Soil Microbiome. **Frontiers in Microbiology**, 11, (2020). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00799>.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLIG, M. C. Mycorrhizal responses to biochar in soil - concepts and mechanisms. **Plant Soil**, v. 300 n. 1–2, p. 9–20, 2007. Doi: 10.1007/s11104-007-9391-5. Springer.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLIG, M. C. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. **Plant Soil**, v. 300, p. 9-20, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9391-5>.

WILSON, S. K.; PRETORIUS, T.; NAIDOO, S. Mechanisms of systemic resistance to pathogen infection in plants and their potential application in forestry. **BMC Plant Biol**, v. 23, p.404, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04391-9>

WUYTS, N. et al. Potential physical and chemical barriers to infection by the burrowing nematode *Radopholus similis* in roots of susceptible and resistant banana (*Musa* spp.). **Plant Pathology**, v. 56, n. 5, p. 878-890, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01607.x>

XIANG, Y.; DENG, Q.; DUAN, H.; GUO, Y. Effects of biochar application on root traits: A meta-analysis. **GCB Bioenergy**, v. 9, p. 1563-1572, 2017. DOI: 10.1111/gcbb.12449.

XU N., TAN G., WANG H., GAI X. Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. **Eur. J. Soil Biol**, v. 74, p. 1–8, 2016. doi: 10.1016/j.ejsobi.2016.02.004.

YANG, G.; ZHANG, X. Z.; ZHANG, Z.; WU, Y.; ZHANG, Y.; LÜ, S.; ZOU, Q.; GAO, Y.; TENG, L. Effects of Tomato Root Exudates on *Meloidogyne incognita*. **PLoS ONE**, v. 1, n. 4, p. e0154675. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154675>

ZHANG, M. RIAZ, M., XIA, H., LI, Y., WANG, X., & JIANG, C. Four-year biochar study: Positive response of acidic soil microenvironment and citrus growth. **Science of the Total Environment**, p. 152515, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152515>.

ZHENG, H.; LIU, D.; LIAO, X.; MIAO, Y.; LI, Y.; LI, J.; YUAN, J.; CHEN, Z.; DING, W. Field-aged biochar enhances soil organic carbon by increasing recalcitrant organic carbon fractions and making microbial communities more conducive to carbon sequestration. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 340, p.108177, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108177>.

ZHU, Z., ZHANG, Y., TAO, W., ZHANG, X., XU, Z., & XU, C. The Biological Effects of Biochar on Soil's Physical and Chemical Characteristics: A Review. **Sustainability**.v. 17, p. 2214, 2025 <https://doi.org/10.3390/su17052214>.