

**Potencial de isolados fúngicos para a redução do parasitismo de
Meloidogyne incognita em tomateiro**

**Potential of fungal isolates to reduce *Meloidogyne incognita* parasitism
in tomato**

DOI:10.34117/bjdv8n2-361

Recebimento dos originais: 07/01/2022

Aceitação para publicação: 22/02/2022

Ana Maria Maciel dos Santos

Doutora em Melhoramento Genético de Plantas UFRPE
Instituição: Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste
Endereço: Av. Professor Luís Freire 1, Cidade Universitária, Recife/PE
CEP: 50740-545
E-mail: agrom1960@yahoo.com.br

Lindomar Maria de Souza

Doutora em Botânica pela UFRPE
Instituição: Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste
Endereço: Av. Professor Luís Freire 1, Cidade Universitária, Recife/PE
CEP: 50740-545
E-mail: lindomarsouza.ufrpe@gmail.com

Joselma Ferreira da Silva

Especialista em Microbiologia pela FAFIRE
Instituição: Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste
Endereço: Av. Professor Luís Freire 1, Cidade Universitária, Recife/PE
CEP: 50740-545
E-mail: joselma.fsilva@gmail.com

Cristina dos Santos Ribeiro Costa

Doutoranda em Melhoramento Genético de Plantas pela UFRPE
Instituição: Universidade Federal Rural de Pernambuco
Endereço: Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife/PE
CEP: 52171-900
E-mail: cristinasrcosta@gmail.com

Kleyton Danilo da Silva Costa

Doutor em Melhoramento Genético de Plantas pela UFRPE
Instituição: Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas
Endereço: Av. Sergipe, 1477 Piranhas-AL, CEP:57460-000
E-mail: kleyton.costa@ifal.edu.br

Fabiana Aparecida Cavalcante Silva

Doutora em Genética e Biologia Molecular

Instituição: Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste

Endereço: Av. Professor Luís Freire 1, Cidade Universitária, Recife/PE

CEP: 50740-545

E-mail: fabiana.acs@gmail.com

Bianca Galúcio Pereira Araújo

Doutoranda em Melhoramento Genético de Plantas pela UFRPE

Instituição: Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste

Endereço: Av. Professor Luís Freire 1, Cidade Universitária, Recife/PE

CEP: 50740-545

E-mail: bianca.araujo@cetene.gov.br

James Correia de Melo

Doutor em Engenharia Química pela UFPE

Instituição: Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste

Endereço: Av. Professor Luís Freire 1, Cidade Universitária, Recife/PE

CEP: 50740-545

E-mail: james.melo@cetene.gov.br

RESUMO

A substituição de nematicidas químicos por produtos ecologicamente sustentáveis é uma importante ferramenta no gerenciamento microbiológico do solo e no manejo de fitonematoides. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de isolados fúngicos na redução do parasitismo de *Meloidogyne incognita* em plantas de tomateiro. O experimento foi conduzido no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste. Em ambiente protegido foram testados três isolados fúngicos e dois produtos comerciais. Ao 15º dia do início da germinação, procedeu-se com a inoculação dos substratos com os controles (isolados fúngicos do gênero *Trichoderma* e *Gongronella* ou produto comercial) e após cinco dias da inoculação dos substratos, procedeu-se a inoculação de 1.100 ovos de *M. incognita* por planta, exceto a testemunha geral. Aos 45 dias após a inoculação, foram avaliadas a biomassa fresca da parte aérea e raiz, número de galhas no sistema radicular (NGSR), número de ovos (NO), fator de reprodução (FR) e pigmentos fotossintetizantes. Para os teores de todos os pigmentos avaliados, o produto 1 e o isolado CTFN-18 apresentaram médias inferiores às obtidas pela testemunha. Apesar de alguns tratamentos terem influência negativa no teor de pigmentos, não foram observadas alterações na biomassa fresca da parte aérea e raiz. Para o NGSR apenas o produto 1 diferiu dos demais tratamentos, apresentando média superior. Tanto para o NO quanto para o FR, o isolado CTFN-18 não diferiu significativamente do produto 2 que apresentou as menores médias, o que aponta o grande potencial do isolado CTFN-18 para o controle biológico de *M. incognita*.

Palavras-chave: Biocontrole, Nematoides das Galhas, *Trichoderma*.

ABSTRACT

Replacing chemical nematicides with ecologically sustainable products is an important tool in soil microbiological management and phytonematode management. The objective of the present work was to evaluate the potential of fungal isolates to reduce the parasitism of *Meloidogyne incognita* in tomato plants. The experiment was conducted at the Center

for Strategic Technologies in the Northeast. In a protected environment, three fungal isolates and two commercial products were tested. On the 15th day from the start of germination, the substrates were inoculated with the controls (fungal isolates of the genus *Trichoderma* and *Gongronella* or commercial product) and after five days of inoculation of the substrates, the inoculation of 1.100 eggs of was carried out *M. incognita* by plant, except the general witness. At 45 days after inoculation, fresh shoot and root biomass, number of galls in the root system (NGSR), number of eggs (NO), reproduction factor (RF) and photosynthetic pigments were evaluated. For the contents of all pigments evaluated, product 1 and CTFN-18 isolate had lower averages than those obtained by the control. Although some treatments had a negative influence on the pigment content, no changes were observed in the fresh biomass of the shoot and root. For NGSR, only the product 1 differed from the other treatments, with a higher average. For both NO and RF, isolate CTFN-18 did not differ significantly from product 2, which had the lowest averages, which indicates the great potential of isolate CTFN-18 for biological control of *M. incognita*.

Keywords: Biocontrol, Root-Knot Nematode, *Trichoderma*.

1 INTRODUÇÃO

Nos agroecossistemas as interações entre as plantas e o ambiente agrícola são complexas e envolvem diversos fatores bióticos e abióticos. Dentre os fatores bióticos existem os fitonematoides, que segundo Lopez e Ferraz (2016) são patógenos presentes no solo e que provocam perdas de produtividade nas principais culturas de importância econômica ou de subsistência, com prejuízos anuais estimados entre 78 – 125 bilhões de dólares. Apesar disso, os prejuízos causados por fitonematoides nos trópicos têm sido subestimados (SIKORA *et al.*, 2018). Pertencente à família Meloidogynidae, o gênero *Meloidogyne* é conhecido como nematoides das galhas, sendo as espécies *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria* fitonematoides de grande importância para a agricultura mundial. Tais espécies apresentam ampla distribuição geográfica e são altamente polífagas, infectando um elevado número de culturas de importância econômica e causando sérias perdas em escala global (FERRAZ; MONTEIRO, 2011; GÁLVEZ *et al.*, 2019; LORDELLO, 1992).

Na cultura do tomateiro, em levantamento realizado por Pinheiros *et al.* (2014) em áreas de produção comercial de tomate no Brasil, foram observadas a prevalência das espécies de *M. javania* (50% das amostras), *M. incognita* (28,5%), *M. ethiopica* (14,2%), *M. enterolobii* (7,14%) e *M. morocciensis* (3,57%). Além das perdas agrícolas ocasionadas por tais patógenos, a meloidoginose é difícil de ser manejada e as práticas preventivas oneram significativamente os custos produtivos (MOURA, 2017).

Dentre as estratégias de manejo integrado de fitonematoides, estão a utilização de variedades resistentes, controle biológico, práticas culturais, controle químico (SANTAMARIA *et al.*, 2017) e legislativo. Dentre essas, o controle biológico é uma alternativa viável e de baixo custo que pode ser incorporada ao manejo dos nematoides das galhas (SANTOS *et al.*, 2020). O controle biológico de nematoides é baseado na utilização de organismos vivos que apresentam efeito antagônico sobre o nematoide promovendo redução populacional do fitopatógeno (SOARES *et al.*, 2017).

Os microrganismos selecionados para a composição de bionematicidas são prioritariamente fungos e bactérias que podem atuar em diferentes fases de vida do fitonematoide: ovo, fases móveis no solo ou no interior das raízes (LIMA *et al.*, 2019). Segundo Santos *et al.* (2020), a busca por isolados de fungos promissores para o manejo dos nematoides das galhas é fundamental no Brasil devido a grande diversidade de agroecossistemas presentes no país. A seleção de isolados em regiões específicas pode viabilizar a produção de bionematicidas que apresentem maior sucesso por serem mais adaptados a tais localidades.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de isolados fúngicos na redução do parasitismo de *M. incognita* em plantas de tomateiro em ambiente protegido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) localizado em Recife - PE nas coordenadas 8° 04' 03'' (latitude) e 34° 55' 00'' (longitude), no período de março a maio de 2021, em ambiente protegido. As médias das temperaturas mínima e máxima, dentro do telado, durante a condução do trabalho foram de 19,4 °C e 36,2°C, respectivamente. Os dados foram obtidos da estação meteorológica SUNLOGIC - WS3500 Profissional Freq. 868 MHz.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo a parcela experimental uma planta. Foram avaliados três isolados fúngicos do gênero *Trichoderma* e *Gongronella* e dois produtos comerciais: produto 1 (*Bacillus subtilis*) e produto 2 (*Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B.pumilus*). Duas testemunhas foram utilizadas, a primeira continha apenas as plantas infestadas pelo nematoide sem nenhum controle, enquanto a outra não continha nem o nematoide e nem o controle.

Os isolados fúngicos utilizados fazem parte da coleção de fungos nematófagos mantida pelo CETENE. Para identificação dos fungos, procedeu-se o cultivo em placas de Petri no meio BDA a 2% para posterior identificação com base nas características macro e microscópicas de acordo com a taxonomia morfológica (HESSELTINE; ELLIS, 1964; KUBICEK; HARMAN, 1998).

A semeadura foi realizada em copos com capacidade de 500 mL contendo substrato comercial para a produção de hortaliças, estéril (autoclavado a 120°C por 2 horas). Em cada copo foram semeadas duas sementes de tomate da cultivar Santa Cruz. Após a germinação, realizou-se o desbaste deixando uma planta por copo.

Transcorridos 15 dias do início da germinação realizou-se a inoculação dos substratos com os isolados fúngicos ou bionemáticos comerciais. Foram utilizados os isolados fúngicos das espécies *Trichoderma* spp.1, *Trichoderma* spp.2 e *Gongronella* sp. Os referidos isolados foram multiplicados em arroz para a obtenção dos esporos que foram utilizados para o preparo da suspensão ajustada, numa concentração de 5×10^6 conídios por mL. Os produtos comerciais foram aplicados na dosagem recomendada pelo fabricante, 200 mL/ha. A inoculação foi realizada colocando sob o substrato 15 mL da suspensão de esporos fúngicos ou da solução dos produtos comerciais. Para a testemunha geral (sem inóculo nem controle) foi utilizada água destilada.

Após cinco dias da inoculação dos substratos com os isolados fúngicos ou bionemáticos comerciais, procedeu-se a inoculação de 1.100 ovos de *Meloidoyne incognita* por copo, exceto na testemunha geral. Os ovos do nematoide foram extraídos de fontes de inóculo (tomateiros da cultivar Santa Cruz parasitados pelo nematoide). Para isso, as raízes foram imersas em água para remoção do substrato e posteriormente, procedeu-se à extração por meio da metodologia proposta por Hussey e Barker (1973) e modificada por Boneti e Ferraz (1981). Ajustando-se a concentração da suspensão para 1.100 ovos/mL.

Aos 45 dias após a inoculação do nematoide, avaliou-se: biomassa fresca da parte aérea, biomassa fresca do sistema radicular, número de galhas no sistema radicular (NGSR), número de ovos (NO), fator de reprodução (FR) e pigmentos fotossintetizantes. Para obtenção das biomassas frescas pesou-se a parte aérea e o sistema radicular, individualmente, em balança Shimadzu Classe II. A extração dos ovos foi realizada por metodologia citada anteriormente. O fator de reprodução foi obtido dividindo a população final e a população inicial (1.100 ovos inoculados) do nematoide ($FR = Pf/Pi$).

Para a quantificação dos pigmentos fotossintetizantes, utilizou-se o método de extração em acetona 80% (LICHTENTHALER, 1987). Em ambiente fechado, na presença de luz verde, 200 mg de tecido vegetal (folhas) foram macerados em N₂ líquido e depois solubilizados em 10 mL de acetona 80%. Em seguida, a solução foi filtrada em papel de filtro qualitativo, pipetou-se 200 µL do filtrado para placa de Elisa e foram mensuradas as absorbâncias (ABS) em 470, 646.8 e 663.2. Os valores obtidos foram utilizados nas equações abaixo para calcular a concentração dos pigmentos fotossintetizantes:

$$\text{Clorofila "a"} (Ca) = 12,25 \times \text{ABS}663.2 - 2,79 \times \text{ABS}646.8$$

$$\text{Clorofila "b"} (Cb) = 21,50 \times \text{ABS}646.8 - 5,10 \times \text{ABS}663.2$$

$$\text{Clorofilas totais C (a+b)} = 7,15 \times \text{ABS}663.2 + 18,71 \times \text{ABS}646.8$$

$$\text{Carotenoides (xantofilas + caroteno)} = (1000 \times \text{ABS}470 - 1,82 \times Ca - 85,02 \times Cb) / 198$$

Os dados obtidos foram tratados (variáveis NO e FR foram transformadas por \sqrt{x} para atender as pressuposições da ANOVA) e submetidos à análise de variância com posterior comparação das médias. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico GENES (CRUZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As variáveis biométricas e pigmentos não apresentaram diferenças significativas a 1% e 5% de probabilidade pelo teste de F. Os coeficientes de variação oscilaram entre 11,74 e 17,44 para as características biométricas; e 27,35 e 35,65 para os pigmentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise de variâncias de características biométricas e o teor de pigmentos em plantas de tomateiro inoculadas com *Meloidogyne Incognita*. Recife-PE, 2021

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios					
		BFA	BFR	Ca	Cb	Ct	Cr
Tratamentos	6	39,20 ^{ns}	26,00 ^{ns}	6,83 ^{ns}	1,24 ^{ns}	13,70 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Inoculados	5	40,14 ^{ns}	9,41 ^{ns}	6,95 ^{ns}	1,20 ^{ns}	13,72 ^{ns}	0,62 ^{ns}
Inoculados vs Test.	1	34,53 ^{ns}	108,93 ^{ns}	6,21 ^{ns}	1,42 ^{ns}	13,56 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Resíduo	21	71,64	15,78	1,11	0,21	2,23	0,11
CV%	-	11,74	17,44	31,33	35,65	32,12	27,35

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental; ns: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. BFA: biomassa fresca da parte aérea; BFR: biomassa fresca do sistema radicular; Ca: clorofila a; Cb: clorofila b; Ct: clorofila total; Cr: carotenoides

Em berinjela (*Solanum melongena* L.), plantas inoculadas com 1000 J2 e ovos de *M. incognita* por vaso e tratadas com diferentes espécies de fungos com potencial nematófago para o controle biológico do nematoide em questão apresentaram maiores valores das médias de massa fresca da parte aérea e massa fresca do sistema radicular quando comparadas com a testemunha sem nematoide (SANTAMARIA *et al.*, 2017). A redução do desenvolvimento de plantas parasitadas pelos nematoides das galhas é fato constatado por diversos autores em diferentes culturas de importância agrícola.

Mesmo não havendo diferença pelo teste de F, ao aplicar o teste de Dunnett à 5% de probabilidade observou-se diferença significativa entre alguns tratamentos e a testemunha em relação aos pigmentos analisados. Para os teores de todos os pigmentos avaliados, o produto comercial 1 e o isolado CTFN-18 apresentaram médias inferiores às obtidas pela testemunha. O isolado CTFN-49.2 apresentou média inferior à testemunha quanto ao teor de clorofila b (Tabela 2).

Tabela 2 - Médias das características biométricas e dos teores de pigmentos em plantas de tomateiro inoculadas com *Meloidogyne incognita*. Recife-PE, 2021.

Tratamentos	Agente de Biocontrole	BFA (g)	BFR (g)	Ca (g/kg)	Cb (g/kg)	Ct (g/kg)	Cr (g/kg)
Só com nematoide	-	74,14	22,74	5,10	1,83	6,93	1,75
Produto 1	<i>Bacillus subtilis</i>	71,82	24,39	2,01 *	0,86*	2,86*	0,84*
Produto 2	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> e <i>B.pumilus</i>	68,64	20,49	4,15	1,66	5,81	1,40
CTFN-18	<i>Trichoderma</i> spp.1	76,60	21,74	1,65*	0,45*	2,10*	0,65*
CTFN-49.2	<i>Trichoderma</i> spp.2	69,08	22,21	2,65	0,86*	3,51	1,10
CTFN-41.2	<i>Gongronella</i> sp.	69,70	20,24	3,44	1,51	4,96	1,10
Testemunha geral	-	74,84	27,61	4,51	1,84	6,35	1,53

Médias apresentando asteriscos (*) diferem significativamente da testemunha na coluna pelo teste de Dunnett ($p > 0,05$). BFA: biomassa fresca da parte aérea; BFR: biomassa fresca do sistema radicular; Ca: clorofila a; Cb: clorofila b; Ct: clorofila total; Cr: carotenoides.

As alterações nos teores de pigmentos observadas no presente estudo indicam que alguns dos tratamentos testados tiveram influência negativa no processo fotossintético, muito embora não tenham sido observadas alterações na biomassa fresca da parte aérea e radicular (Tabela 2). A diminuição no conteúdo de pigmentos fotossintéticos é uma resposta observada em plantas sob condição de estresse.

A degradação dos pigmentos de clorofilas observada nas plantas tratadas com o produto 1 ou com *Trichoderma* está intimamente atrelada à senescência foliar, visualizada inicialmente pela mudança na coloração das folhas (HEATON; MARANGONI, 1996; SMARTH 1994). A clorofila b desempenha importante função como pigmento acessório, ajudando em caráter preventivo na distribuição energética na cadeia transportadora de elétrons, prevenindo danos fotoquímicos ao aparato fotossintético (HEATON; MARANGONI, 1996). De modo semelhante, os carotenoides auxiliam na proteção e na prevenção dos danos às membranas biológicas devido à sua função antioxidante. Portanto, a manutenção nos teores desses pigmentos em uma condição adversa é muito importante para a prevenção de danos oxidativos (SOUZA *et al.*, 2020), conforme observado nas plantas tratadas com o produto comercial 2 e o isolado fúngico *Gongronella sp.* e *Trichoderma sp.*

Por isso, nas condições estudadas, a redução de pigmentos observada em alguns tratamentos é decorrente do estresse ocasionado pelo parasitismo do nematoide. Nessa situação, o cenócito induzido pelos nematoides das galhas funciona como um dreno metabólico na planta, mobilizando fotoassimilados para o interior das células nutridoras visando o desenvolvimento e reprodução dos nematoides o que promove desequilíbrios fisiológicos como a deficiência de macro e/ou micronutrientes, resultando em sintomas de clorose e deficiências nutricionais (FERRAZ; BROWN, 2016). Além de causar tais danos, os nematoides das galhas ainda deixam as plantas infectadas mais vulneráveis ao ataque de outros patógenos, como fungos e bactérias fitopatogênicas presentes no solo (ASMUS, 2001).

As variáveis NGSR, NO e FR apresentaram diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente. Os coeficientes de variação experimental oscilaram entre 14,03 (NO) e 30,78 (NGSR) (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variâncias de características relacionadas ao parasitismo de tomateiros inoculados com *Meloidoyne incognita*. Recife-PE, 2021

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios		
		NGSR	NO	FR
Tratamentos	5	33512,97*	7353,70**	6,70**
Resíduo	18	9255,72	253,19	0,23
CV%	-	30,78	14,03	14,04

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação experimental; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. NGSR: número de galhas no sistema radicular; NO: número de ovos; FR: fator de reprodução

Para o NGSR apenas o produto 1 diferiu dos demais tratamentos, apresentando média superior (481,5 galhas no sistema radicular). Semelhante ao ocorrido com o número de galhas, as maiores médias para o NO e FR foram obtidas no tratamento do produto 1 a base de *Bacillus subtilis* (Tabela 4).

Tabela 4 - Médias de características relacionadas ao parasitismo de tomateiros inoculados com *Meloidoyne incognita*. Recife-PE, 2021

Tratamentos	Agente de Biocontrole	NGSR	NO	FR
Só nematoide	com -	280,25 b	15.197,50 b	13,82 b
Produto 1	<i>Bacillus subtilis</i>	481,5 a	34.020,00 a	30,93 a
Produto 2	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> e <i>B.pumilus</i>	230,25 b	4.217,50 d	3,83 d
CTFN-18	<i>Trichoderma</i> spp.1	238,25 b	6.427,50 d	5,84 d
CTFN-49.2	<i>Trichoderma</i> spp.2	316,50 b	17.232,50 b	15,67 b
CTFN-41.2	<i>Gongronella</i> sp.	316,75 b	10.462,5 c	9,51 c

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p>0,05$). NGSR: número de galhas no sistema radicular; NO: número de ovos; FR: fator de reprodução

O uso de *Bacillus subtilis* no controle de nematoides das galhas no cultivo de batata mostrou-se eficaz na redução do número de galhas, com produção de substâncias metabólicas tóxicas contra a *M. incognita* (RUIZ *et al.*, 2014).

Apesar de o presente estudo ter sido baseado nos resultados nas pesquisas supracitadas, é possível que os isolados fúngicos não tenham reduzido o número de galhas pelo fato dessas suspensões de esporos não terem sido incorporadas ao substrato durante a inoculação. De acordo com Meyer *et al.* (2019), no manejo de fitonematoides com *Trichoderma* recomenda-se que as aplicações sejam realizadas no tratamento de sementes ou sulco de plantio, no caso de plantas anuais, ou aplicados nas covas em períodos úmidos do ano para culturas perenes.

Tanto para o NO quanto para o FR houve a formação de quatro grupos pelo teste de agrupamento de Scott-Knott à 5% de probabilidade. O primeiro grupo formado pelo produto 1 que apresentou as maiores médias 34.020 e 30,93 para o NO e FR, respectivamente. O segundo grupo foi constituído pelo tratamento sem controle (só nematoide) e o isolado CTFN-49.2 (*Trichoderma* spp.2). No terceiro grupo, composto pelo isolado CTFN-41.2 (*Gongronella* sp.), as médias foram menores que as apresentadas pelo grupo do tratamento sem controle, havendo a possibilidade de tal isolado apresentar potencial no biocontrole. O quarto grupo apresentou as menores médias de NO e FR

sendo composto pelo produto 2 (NO= 4.217,50 e FR= 3,83) e o isolado CTFN-18 (NO=6.427,50 e FR=5,84). O isolado CTFN-18 (*Trichoderma* spp.1) não diferiu significativamente do produto 2 e apresenta grande potencial para o controle biológico de *M. incognita*.

Os fungos do gênero *Trichoderma* spp., notavelmente *Trichoderma harzianum*, são amplamente utilizados no manejo biológico de diversos patógenos do solo como por exemplo, fungos e nematoides (FRACETO *et al.*, 2018). Espécies do gênero *Trichoderma* produzem um complexo de enzimas hidrolíticas composto por quitinases, celulasas β -glucanases, proteases, entre outras, as quais decompõem paredes celulares dos fitopatógenos, o que possibilita a penetração das hifas, colonização e o início da atividade micoparasitária (CARVALHO *et al.*, 2015; HERMOSA *et al.*, 2012). Dentre os mecanismos de ação desses fungos estão: micoparasitismo, antibiose, competição e a indução de resistência em plantas hospedeiras (BISEN *et al.*, 2015; HOWELL, 2003; KESWANI *et al.*, 2014). Por esses motivos, mais de 50 biofungicidas à base de *Trichoderma* foram desenvolvidos, sendo o gênero responsável por 60% dos fungos utilizados no controle biológico com novos produtos registrados constantemente em todo o mundo (RAJESH; RAHUL; AMBALAL, 2016).

Em condições de casa de vegetação Sahebani e Hadavi (2008) relataram que a inoculação de sementes de tomate com *T. harzianum* reduziu significativamente o nível da doença causada pelo nematoide *Meloidogyne javanica*; afetando seu estabelecimento, desenvolvimento e reprodução. Além disso, observaram uma redução significativa na eclosão de ovos, demonstrando que esta espécie do gênero *Trichoderma* possui potencial significativo como biocontrolador do *M. javanica*. Da mesma forma, Martínez-Medina *et al.* (2017) observaram que a colonização das raízes de tomateiro por *T. harzianum* impediu o desempenho do nematoide localmente em vários estágios do parasitismo: invasão, formação de galhas e reprodução do patógeno.

Em outro estudo, avaliou-se o efeito da suspensão de esporos e dos exsudados produzidos por diferentes espécies de *Trichoderma*, no controle de *M. incognita* em tomateiro, foi observado que os metabólitos produzidos pelo fungo, ao crescer em cultura líquida, apresentaram efeito direto e bastante efetivo sobre *M. incognita*, diminuindo significativamente a eclosão dos ovos e aumentando a mortalidade dos J2. A aplicação no solo da suspensão de esporos mostrou-se mais eficiente afetando negativamente a população de J2s, além de aumentar o crescimento das plantas de forma mais eficaz do

que os exsudados fúngicos (KHAN; AHMAD; AHAMAD, 2018). Em ambos os casos, a espécie com melhores resultados no controle de nematoides foi *T. harzianum*.

O gênero *Trichoderma* apresenta um importante potencial como agente biocontrolador, não apenas contra nematóides de galhas, mas também contra nematóides formadores de cistos por parasitismo direto de ovos e larvas. Aumenta o nível de enzimas extracelulares como quitinase e protease, que permitem a penetração do fungo nos ovos por afetar diretamente componentes estruturais muito abundantes da casca do ovo, reduzindo assim o número de ovos capazes de eclodir e, portanto, o número de J2 infectantes (POVEDA; ABRIL-URIAS; ESCOBAR, 2020).

Inúmeros estudos demonstraram que, ao colonizar as raízes das plantas, os fungos do gênero *Trichoderma* estimulam seus mecanismos de defesa contra inúmeros microrganismos fitopatogênicos, incluindo nematoides (HERMOSA *et al.*, 2012). *Trichoderma* é capaz de induzir resistência em uma ampla variedade de espécies vegetais, o que leva a modificações transcriptômicas, proteômicas e metabôlicas na planta (MUKHERJEE *et al.*, 2012). Essa estimulação de defesa sistêmica prepara a resposta imune da planta, permitindo uma resposta mais rápida após o ataque de qualquer tipo de patógeno reduzindo a possibilidade de propagação da doença (MENDOZA-MENDOZA *et al.*, 2018). Recentemente foi descrito que formulações comerciais de alguns *Trichoderma* spp. induziram resistência a *M. incognita* em tomate e, adicionalmente, proporcionaram um efeito aditivo ao do gene de resistência Mi do tomate (POVEDA; ABRIL-URIAS; ESCOBAR, 2020).

Existem diversas vantagens do controle biológico em relação ao químico, como: não contamina o solo e lençol freático; não desequilibra o meio ambiente por não deixar resíduos; apresentam fácil aplicação (LOUREIRO *et al.*, 2020). Tais fatores fazem com que a utilização de bioprodutos no manejo de fitonematoides seja uma opção ecológica, econômica e sustentável que apresenta um notório crescimento na última década devido a disponibilização de produtos microbianos com eficiência reconhecida (BENAMI *et al.*, 2020) e que promovem o gerenciamento microbiológico do solo e não apenas o manejo de nematoides (LIMA *et al.*, 2019).

4 CONCLUSÕES

Os isolados CTFN-41.2 e CTFN-18 mostraram-se promissores na diminuição do fator de reprodução do patógeno em substrato na condição de telado e apresentam potencial para o controle biológico do *M. incognita*.

São necessários estudos em condições de campo em áreas naturalmente infestadas pelo nematoide, visando ampliar a avaliação do desempenho dos isolados fúngicos na diminuição dos problemas ocasionados pelos nematoides das galhas na cultura do tomateiro.

REFERÊNCIAS

- ASMUS, G.L. Danos causados à cultura da soja por nematóides do gênero *Meloidogyne*. In: FERRAZ, L.C.C.B.; ASMUS, G.L.; CARNEIRO, R.G.; MAZAFERRA, P.; SILVA, J.F.V. Relações parasito-hopedeiro nas meloidoginoses da soja. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2001, p. 39-56.
- BENAMI, M.; ISACK, Y.; GROTSKY, D.; LEVY, D.; KOFMAN, Y. The economic potential of arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. In: NEVALAINEN, H. Grand Challenges in Biology and Biotechnology, Springer, 2020. cap. 9, p. 239–279.
- BISEN K.; KESWANI C.; MISHRA S.; SAXENA A.; RAKSHIT A.; SINGH H.B. Unrealized Potential of Seed Biopriming for Versatile Agriculture. In: RAKSHIT A.; SINGH H.B.; SEN A. Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances. Springer, New Delhi, 2015. cap. 12, 193-206.
- BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey and Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. Fitopatologia Brasileira, v. 6, n. 3, p.553-553, 1981.
- CARVALHO, D.D.C.; GERALDINE, A.M.; LOBO JUNIOR, M.; MELLO, S.C.M. Controle biológico do mofo branco por *Trichoderma harzianum* em feijão em condições de campo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 12, p. 1220–1224, 2015.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. Acta Scientiarum, v. 35, n.3, p. 271-276, 2013.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. Nematologia de plantas: fundamentos e importância. Manaus: Norma Editora. 2016. 251p.
- FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematoides. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. cap. 13, p. 277 - 305.
- FRACETO, L. F.; MARUYAMA, C. R.; GUILGER, M.; MISHRA, S.; KESWANI, C.; SINGH, H. B.; LIMA, R. *Trichoderma harzianum*- based novel formulations: potential applications for management of Next-Gen agricultural challenges. Journal Of Chemical Technology & Biotechnology, v. 98, n. 8, p.2056-2063, 2018.
- GÁLVEZ, A.; DEL AMOR, F. M.; ROS, C.; LÓPEZ-MARÍAN, J. New traits to identify physiological responses induced by different rootstocks after root-knot nematode inoculation (*Meloidogyne incognita*) in sweet pepper. Crop Protection, v. 119, p. 126–133, 2019.
- HEATON, J.W., MARANGONI, A.G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. Trends in Food Science & Technology, v. 7, n.1, 8-15, 1996.
- HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. Microbiology, v.158, n. 1, p. 17-25, 2012.

HESELTIME, C.W., ELLIS, J.J. The genus *Absidia*: *Gongronella* and cylindrical-spored species of *Absidia*. *Mycologia*, v.56, p. 568-601, 1964.

HOWELL, C.R. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, v. 87, n.1, p. 4-10, 2003.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. *Plant Disease Reporter*, v. 57, n. 12, p.1025-1028, 1973.

KESWANI, C.; MISHRA, S.; SARMA, B.K.; SINGH, S.P.; SINGH, H.B. Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. *Appl Microbiol Biotechnol*, v. 98, n. 2, p. 533-544, 2014.

KHAN, M. R.; AHMAD, I.; AHAMAD, F. Effect of pure culture and culture filtrates of *Trichoderma* species on root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infesting tomato. *Indian Phytopathology*, v. 71, n. 2, p. 265-274, 2018.

KUBICEK, C.P; HARMAN, G.E. *Trichoderma* and *Gliocladium* - Biology, Taxonomy and Genetics. Volume 1: Taylor & Francis. 1998. 293p.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: COLOWICK, S.P.; KAPLAN, N.O. *Methods in Enzymology*. V.148. San Diego, Academic Press. 1987. p. 350-382.

LIMA, I. M.; VENTURA, J. A.; COSTA, H.; ARPINI, B. S.; MARTINS, M. V. V. Bionemáticos contemporâneos: aplicabilidade e importância no manejo de fitonematoides em áreas agrícolas. *Incaper em Revista*, v. 10, p. 90-104, 2019.

LOPES, E. A.; FERRAZ, S. Importância dos fitonematoides na agricultura. In: OLIVEIRA, C. M. G.; SANTOS, M. A.; CASTRO, L. H. S. (Ed.). *Diagnose de fitonematoides*. Campinas: Millennium Editora, 2016. p. 1-11.

LORDELLO, L. G. E. *Nematoides das plantas cultivadas*. São Paulo: Nobel, 1992. 315 p.

LOUREIRO, E. S.; DIAS NETO, J. A.; PESSOA, L. G. A.; DIAS, P. M.; ADÃO, D. V.; YOKOTO, L. A. Effect of plant protection chemicals about the fungi *Trichoderma harzianum* and *Purpureocillium lilacinum*. *Research, Society and Development*, v.9, n. 6, p. 1-15. 2020.

MARTÍNEZ-MEDINA, A.; FERNANDEZ, I.; LOK, G.B.; POZO, M.J.; PIETERSE, C.M.; VAN WEES, S.C. Shifting from priming of salicylic acid-to jasmonic acid-regulated defences by *Trichoderma* protects tomato against the root knot nematode *Meloidogyne incognita*. *New phytologist*, v. 213, n. 3, p. 1363-1377, 2017.

MENDOZA-MENDOZA, A.; ZAID, R.; LAWRY, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; HORWITZ, B. A.; MUKHERJEE, P. K. Molecular dialogues between *Trichoderma* and roots: role of the fungal secretome. *Fungal Biology Reviews*, v. 32, n. 2, p. 62-85, 2018.

MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. *Trichoderma*: uso na agricultura. Brasília: Embrapa, 2019. 538 p.

MOURA, R. M. O gênero *Meloidogyne* e a meloidoginose parte III - Resenha histórica. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, v. 13/14, p.93-144, 2016/2017.

MALA MUKHERJEE, M.; MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; ZACHOW, C.; BERG, G.; ZEILINGER, S. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions: advances in genetics of biological control. Indian journal of microbiology, v. 52, n. 4, p. 522-529, 2012.

PINHEIRO, J. B.; BOITEUX, L. S.; PEREIRA, R. B.; ALMEIDA, M. R.A.; CARNEIRO, R. M. D. G. Identificação de espécies de *Meloidogyne* em tomateiro no Brasil. EMBRAPA, 2014. 16p.

POVEDA, J.; ABRIL-URIAS, P.; ESCOBAR, C. Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: *Trichoderma*, mycorrhizal and endophytic fungi. Frontiers in Microbiology, v. 11, p. 1-14, 2020.

RAJESH, R.W.; RAHUL, M.S.; AMBALAL, N.S. *Trichoderma*: A significant fungus for agriculture and environment. African Journal of Agricultural Research, v. 11, n. 22, p.1952-1965, 2016.

RUIZ S. E.; CRISTOBAL, A.J.; REYES, R.A.; TUN S. J; GARCIA R. A.; PACHECO A. J. In vitro antagonistic activity of *Bacillus subtilis* strains isolated from soils of the Yucatan Peninsula against *Macrophomina phaseolina* and *Meloidogyne incognita*. Phytion - International Journal of Experimental Botany, v. 83, p.45-47, 2014.

SAHEBANI, N.; HADAVI, N. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. Soil biology and biochemistry, v. 40, n. 8, p. 2016-2020, 2008.

SANTAMARIA, A.; SILVA, T. M.; RUIZ, J. G. C. L.; MARTINELLI, P. R. P.; COSTA, R. S. S. Uso de fungos nematófagos no controle de *Meloidogyne incognita* em berinjela. Science and Technology Innovation in Agronomy, v. 1, n. 1, p. 63-71, 2017.

SANTOS, A. M. M.; SOUZA, L. M.; SILVA, J. S.; COSTA, C. S. R.; COUTINHO, F. P.; COSTA, K. D. S.; ARAÚJO, B. G. P. Parasitismo in vitro de *Meloidogyne javanica* por fungos nematófagos. Brazilian Journal of Development, v. 6, n.12, p.100602-100616, 2020.

SIKORA, R. A.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. Reflections and challenges: nematology in subtropical and tropical agriculture. In: SIKORA, R. A.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 3 ed. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2018. p. 1-19.

SMARTH, C. M. Gene expression during leaf senescence. New Phytologist, v. 126, p. 419-448, 1994.

SOARES, P. L. M.; NASCIMENTO, D. D.; VIDAL, R. L.; VIZENTINI, L.R. Controle biológico de nematoides. *In*: BALDIN, E. L. L.; KRONKA, A. Z.; SILVA, I. F. Inovações em manejo fitossanitário. Botucatu: FEPAF; 2017. p. 167-232.

SOUZA, L.M.; BARBOSA, M.R.; MORAIS, M.B. ; NETO, L. ; ULISSES, C. ; CAMARA, T.R. Biochemical and morphophysiological strategies of *Myracrodruon urundeuva* plants under water deficit. *Biologia plantarum*, v. 64, p. 20-31, 2020.