

TRICHODERMA SP. NO CONTROLE DE FUSARIUM SP. E DE MICOTOXINAS DETECTADAS POR PCR

TRICHODERMA SP. IN THE CONTROL OF FUSARIUM SP. AND MYCOTOXINS DETECTED BY PCR

TRICHODERMA SP. EN EL CONTROL DE FUSARIUM SP. Y MICOTOXINAS DETECTADAS POR PCR

Carla Garcia¹
Marina Szczepanski²
Edileuza Mariana de Godoy³
Maristela Santos Rey⁴

RESUMO: O objetivo deste estudo foi isolar cepas de *Trichoderma* sp. de área de mata e verificar seu potencial de controle direto sobre o crescimento micelial de *Fusarium* sp. e a síntese e produção da mitotoxina desoxinivalenol (DON). A metodologia empregada incluiu o isolamento de *Fusarium* sp. (isolados TR 01, 69 e 89) e de *Trichoderma* sp. de área de mata, próximo de raízes de *Araucaria angustifolia*. Em seguida, foi realizado o teste de confronto de crescimento micelial entre os microrganismos. Após sete e 15 dias de avaliação, o DNA do *Fusarium* sp. foi extraído e a síntese de DON foi analisada por meio da técnica de reação em cadeia da polimerase (PCR). Os resultados indicaram que as cepas de *Trichoderma* sp. apresentaram elevado potencial no controle direto sobre o *Fusarium* sp. e na redução da síntese de DON. Conclui-se que o *Trichoderma* sp. é um agente em potencial para o controle biológico de fitopatógenos, com eficácia dependente da cepa do antagonista e da sensibilidade do patógeno.

33

Palavras-chave: Antagonista. Patógeno. Biologia molecular.

¹Bióloga, mestre, doutora e pós-doutora em produção vegetal e especialização em Biotecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

²Discente em Ciências Biológicas-Licenciatura. Universidade Estadual do Centro-Oeste

³Discente em Ciências Biológicas-Licenciatura. Universidade Estadual do Centro-Oeste.

⁴Graduação em Agronomia, Mestrado e Doutorado em Fitossanidade. Pós-Doutorado em Fitopatologia, professora associada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil.

ABSTRACT: This study aimed to isolate *Trichoderma* sp. strains from forest areas and evaluate their potential for direct control over the mycelial growth of *Fusarium* sp. and the synthesis of the mycotoxin deoxynivalenol (DON). The objective was to assess the effectiveness of these strains in combating the phytopathogen, as well as identify toxin production. The methodology involved isolating *Fusarium* sp. (isolates TR 01, 69, and 89) and *Trichoderma* sp. from a forest area near *Araucaria angustifolia* roots. A mycelial growth confrontation test was then conducted between the microorganisms. After seven and fifteen days of evaluation, *Fusarium* sp. DNA was extracted, and DON synthesis was analyzed using polymerase chain reaction (PCR). The results indicated that the *Trichoderma* sp. strains demonstrated significant potential in directly controlling *Fusarium* sp. and reducing DON synthesis. It was concluded that *Trichoderma* sp. is a promising agent for biological control of phytopathogens, with effectiveness dependent on the antagonist strain and the sensitivity of the pathogen.

Keywords: Antagonist. Pathogen. Molecular biology.

RESUMEN: Este artículo tuvo como objetivo aislar cepas de *Trichoderma* sp. de áreas de bosque y verificar su potencial de control directo sobre el crecimiento micelial de *Fusarium* sp. y la síntesis de la micotoxina deoxinivalenol (DON). La investigación buscó evaluar la eficacia de estas cepas en el combate al fitopatógeno, además de identificar la producción de la toxina. La metodología empleada incluyó el aislamiento de *Fusarium* sp. (aislados TR 01, 69 y 89) y de *Trichoderma* sp. de áreas de bosque, cercanas a raíces de *Araucaria angustifolia*. Posteriormente, se realizó la prueba de confrontación de crecimiento micelial entre los microorganismos. Después de siete y quince días de evaluación, se extrajo el ADN de *Fusarium* sp. y se analizó la síntesis de DON mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Los resultados indicaron que las cepas de *Trichoderma* sp. mostraron un elevado potencial de control directo sobre *Fusarium* sp. y en la reducción de la síntesis de DON. Se concluyó que *Trichoderma* sp. es un agente prometedor para el control biológico de fitopatógenos, con eficacia dependiente de la cepa del antagonista y de la sensibilidad del patógeno.

34

Palabras clave: Antagonista. Patógeno. Biología molecular.

INTRODUÇÃO

O controle biológico de doenças tem sido amplamente adotado nos últimos anos com o intuito de reduzir e/ou eliminar o uso de defensivos químicos. Nesse contexto, o manejo integrado de doenças em plantas busca aplicar estratégias que diminuam a intensidade das enfermidades, garantindo a manutenção ou o aumento do potencial produtivo (GABARDO et al., 2020).

Uma das principais estratégias consiste na aplicação de microrganismos vivos com capacidade de controlar fitopatógenos (THAMBUGALA et al., 2020). Dentre esses organismos, destacam-se os fungos filamentosos do filo Ascomycota, especialmente as espécies do gênero *Trichoderma*, que possuem mecanismos diretos de biocontrole, como produção de

enzimas degradadoras da parede celular, síntese de antibióticos, competição por espaço e nutrientes, além de interações parasitárias com o patógeno (GHORBANPOUR et al., 2018; TYŚKIEWICZ et al., 2022).

Esses processos promovem efeitos antagonistas capazes de reduzir o inóculo de fungos fitopatogênicos. Entre os patógenos de destaque está o *Fusarium sp.*, cuja eficácia de controle depende da cepa de *Trichoderma*, seus modos de ação e a interação com microrganismos e plantas (KUMARI et al., 2024). Estudos apontam que a síntese de ácido hexadecenóico por cepas antagonistas contribui positivamente para o controle de patógenos (STRACQUADANIO et al., 2020).

Outro fator relevante relacionado ao uso de *Trichoderma sp.* é sua capacidade de metabolizar compostos que resultam na redução da produção de micotoxinas, como os tricotecenos do tipo B, especialmente a desoxinivalenol (DON) (BLASZCZYK et al., 2023). A presença dessas toxinas representa risco à saúde humana e animal, devido à sua alta toxicidade em células eucarióticas, inibição da síntese proteica, indução de danos oxidativos e interrupção da produção de ácidos nucleicos, levando à apoptose (NEŠIĆ et al., 2021).

Nesse sentido, a detecção eficiente dessas micotoxinas torna-se fundamental. A técnica de Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) pode ser utilizada para detectar genes associados à biossíntese de tricotecenos, como os produzidos por *Fusarium* (LEE et al., 2001; QUARTA et al., 2006).

Diante desse panorama, este trabalho tem como objetivo isolar cepas de *Trichoderma sp.* oriundas de áreas de mata e verificar seu efeito como antagonista no controle de *Fusarium sp.* e na síntese da micotoxina DON, utilizando a técnica de PCR.

MÉTODOS

Espigas de trigo e cevada com sintomas de Giberela foram coletadas nos campos experimentais da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) e encaminhadas ao Laboratório de Controle Biológico e Biologia Molecular da instituição. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em câmara úmida para induzir a esporulação do patógeno, que foi isolado em meio BDA (batata-dextrose-ágar). Após sete dias, as colônias de *Fusarium sp.* foram repicadas e, quando apresentaram aspecto homogêneo, foram identificadas morfologicamente.

Em seguida, o patógeno foi inoculado em frascos de Erlenmeyer contendo arroz autoclavado (1:1). Após o crescimento, cerca de 5 g do material foram embalados em gaze, amarrados com elástico e utilizados como “iscas” para *Trichoderma* sp. As iscas foram distribuídas em áreas de mata próximas às raízes de *Araucaria angustifolia*. Após 10 dias, foram coletadas e levadas ao laboratório, onde foram isoladas colônias com características morfológicas de *Trichoderma*, totalizando 13 isolados codificados como FAPTRICHA₂₁ até FAPTRICHA₁₁₀₂.

Foram preparadas suspensões de esporos de cada isolado, inoculadas em meio AA (água-ágar). Após 24 horas, um conídio de cada isolado foi transferido para BDA, obtendo-se colônias monospóricas. Quando o crescimento foi completo, a identificação baseou-se nas características morfológicas dos conídios e conidióforos. Posteriormente, realizou-se o ensaio de confronto com *Fusarium* sp. (isolados TR 01, 69 e 89) em placas de Petri com meio BDA, inoculando-se discos de 1 cm de cada fungo em lados opostos. O crescimento micelial foi avaliado após sete e quinze dias.

Ao final, realizou-se a extração de DNA das colônias de *Fusarium* utilizando o kit de extração de DNA/RNA da Loccus. A extração foi automatizada com o equipamento Extracta 32 e o protocolo MPTAGPo16. A concentração foi ajustada para 20 ng/µL, e seguiu-se a PCR convencional com 25 µL de DreamTaq Master Mix (2X) (Thermo Fisher), 2 µL de cada primer do gene *TriI3* (*TriI3F* e *TriI3DONR*), 1 µL de DNA, em volume final de 50 µL (CHANDLER et al., 2003). A amplificação foi conduzida em termociclador Veriti, com etapas específicas de desnaturação, anelamento e extensão (SCOZ et al., 2009).

36

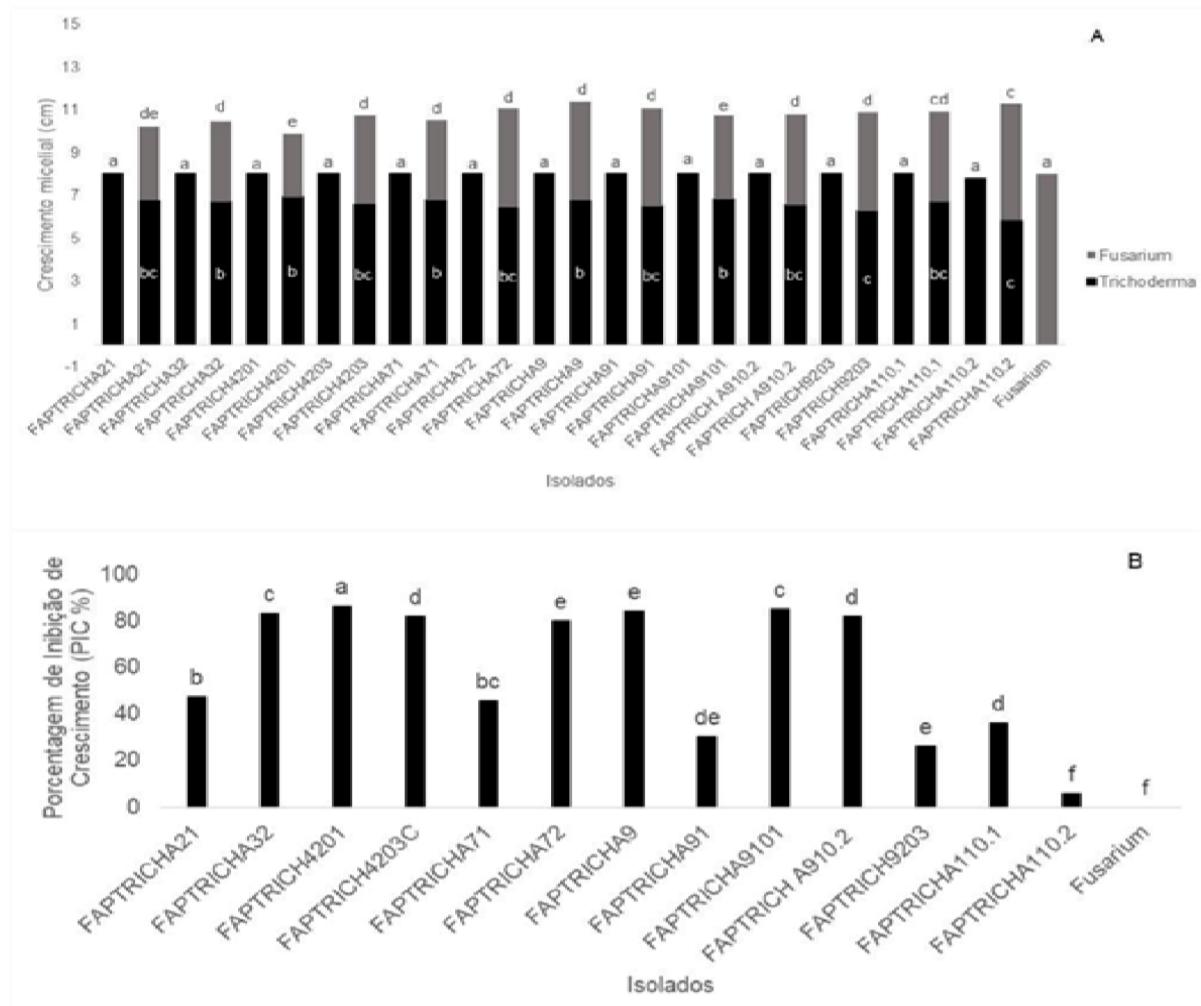
A eletroforese foi realizada em gel de agarose 2%, e o produto da PCR visualizado em transluminador L-Pix, com amplicon identificado em 182 pb. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 13 tratamentos e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%, utilizando o software Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS

De acordo com os resultados, verificou-se que os isolados FAPTRICHA₃₂, FAPTRICHA₄₂₀₁, FAPTRICHA₄₂₀₃, FAPTRICHA₇₂, FAPTRICHA₉, FAPTRICHA₉₁₀₁,

FAPTRICHA₉₁₀₂ e FAPTRICHA₁₁₀₁ apresentaram crescimento médio de 83,4% das cepas de *Trichoderma* sp. no teste de confronto com *Fusarium* sp. isolado TR 01 (Figura 1, A e B).

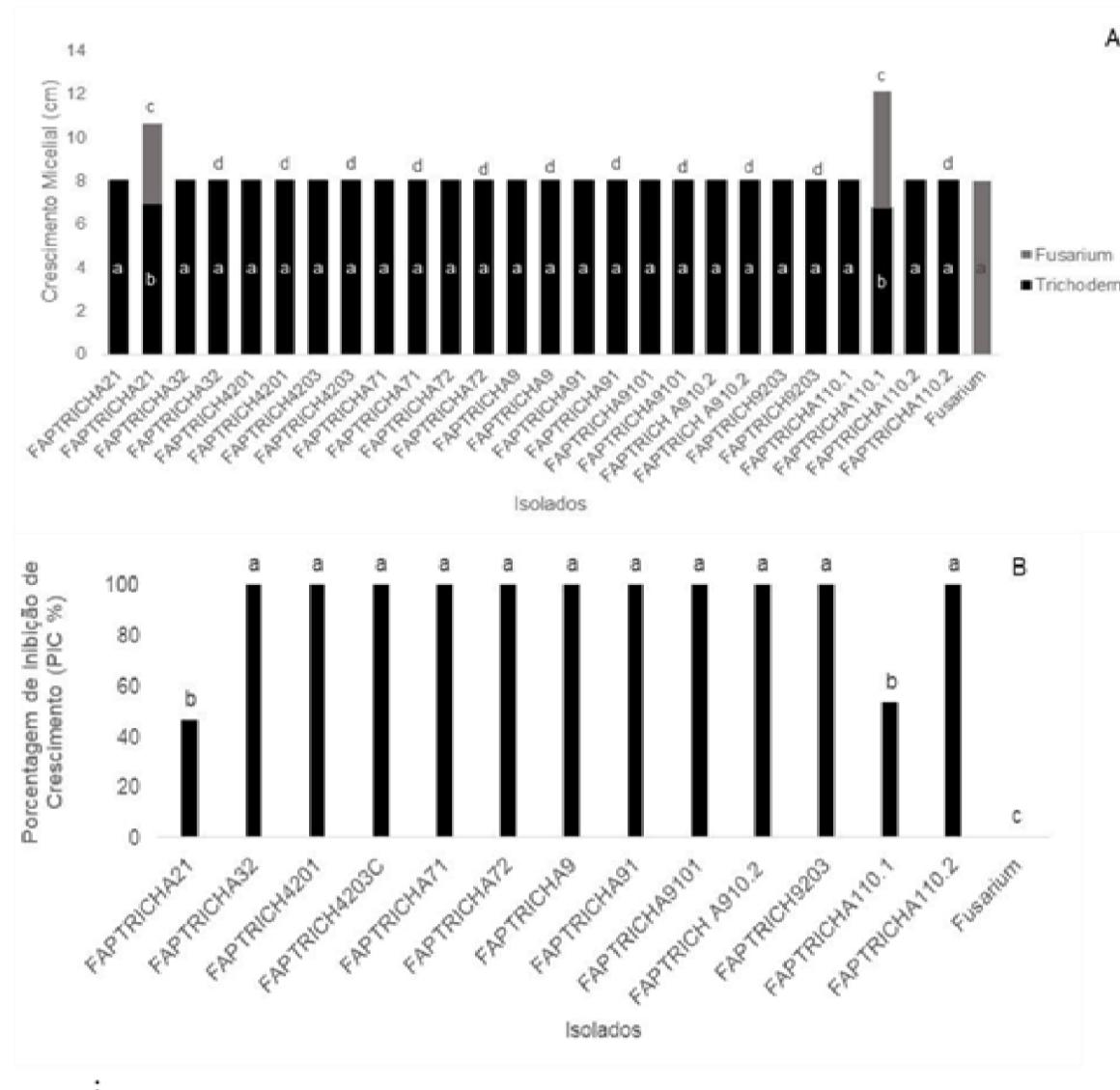
Figura 1: Crescimento micelial (A) e porcentagem de inibição do crescimento (B) de *Fusarium* sp. isolado TR 01, em teste de confronto com cepas de *Trichoderma* sp.



Fonte: GARCIA C, et al., 2025.

Com relação ao isolado 69 de *Fusarium* sp. no teste de confronto com cepas de *Trichoderma* sp. pode-se observar que somente FAPTRICHA₂₁ e FAPTRICHA₁₁₀₁ apresentaram crescimento médio de 85%, as demais foram 100 %. Destaca-se que essas cepas impediram o crescimento de *Fusarium* sp. inibindo totalmente o crescimento micelial (Figura 2, A e B).

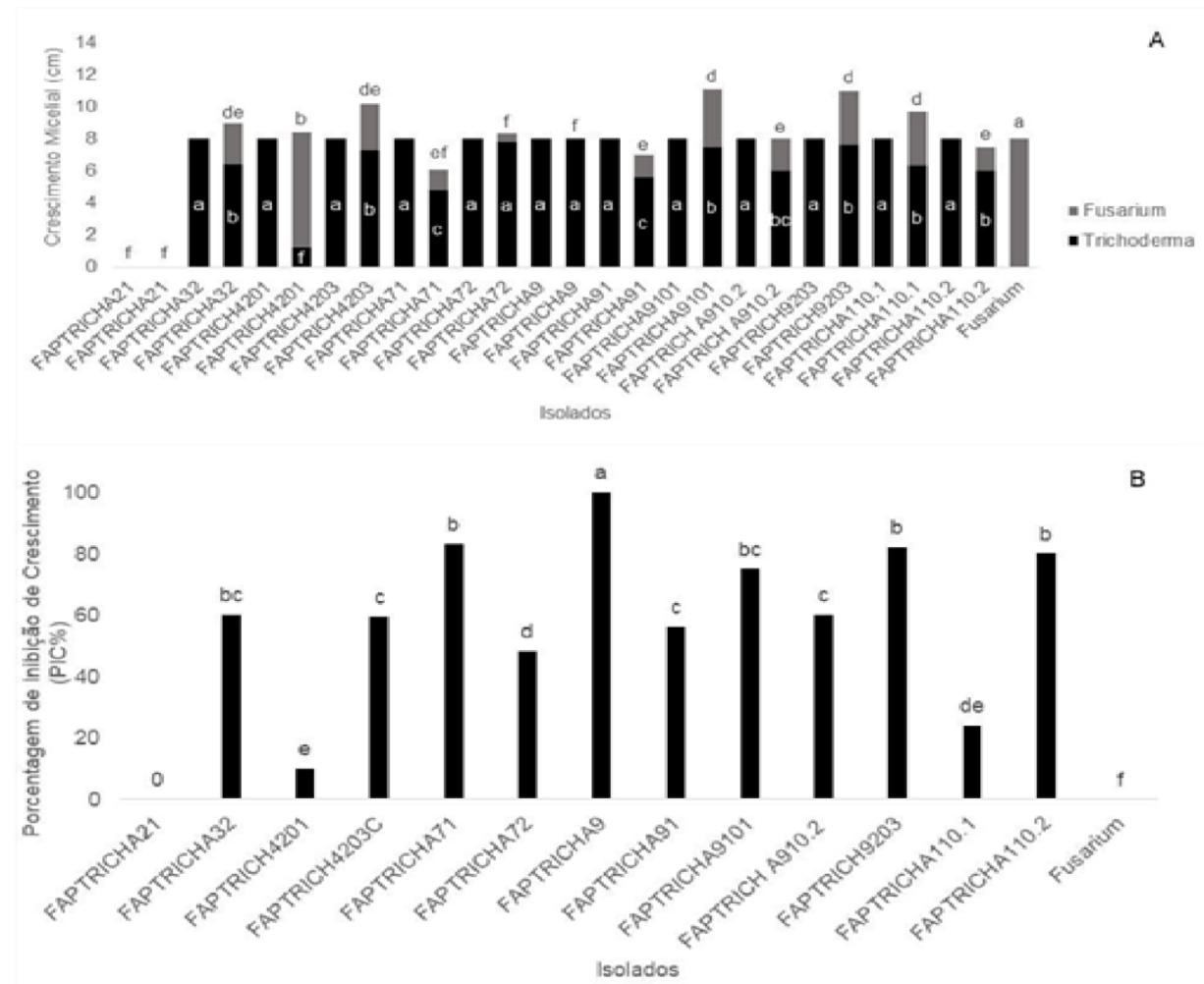
Figura 2: Crescimento micelial (A) e porcentagem de inibição de crescimento (B) de *Fusarium* sp. isolado 69, em teste de confronto com cepas de *Trichoderma* sp.



Fonte: GARCIA C, et al., 2025.

Nos resultados referentes ao isolado 89 de *Fusarium* sp., ressalta-se que a cepa FAPTRICHA₂₁ não apresentou crescimento micelial. Destaca-se que as FAPTRICHA₃₂, FAPTRICHA_{110.1} e FAPTRICHA_{110.2}, apresentaram crescimento médio de 78% no teste de confronto, já as FAPTRICHA₄₂₀₃, FAPTRICHA₇₂, FAPTRICHA₉₁₀₁ e FAPTRICHA₉₁₀₃ esse percentual foi de, aproximadamente 95, respectivamente. Ressalta-se que FAPTRICHA₉ impediu 100% do crescimento micelial do patógeno (Figura 3, A e B).

Figura 3: Crescimento micelial (A) e porcentagem de inibição de crescimento (B) de *Fusarium* sp. isolado 89, em teste de confronto com cepas de *Trichoderma* sp.



Fonte: GARCIA C, et al., 2025.

Cepas de *Trichoderma* sp. possuem hifas com capacidade de se envolver ou penetrar em micélios de patógenos como *Fusarium* sp, impedindo o crescimento e desenvolvimento (MODRZEWSKA et al., 2022). Esse micoparasitismo é mediado pela síntese de enzimas que degradam a parede celular, sendo um mecanismo chave de biocontrole (HALIFU et al., 2020). Além dessa propriedade antagônica, essas cepas apresentam antibiose e competem agressivamente com espécies de *Fusarium* sp., principalmente por nutrientes (RAJANI et al., 2021; HEWEDY et al., 2020). Isolados de *Trichoderma* sp. podem sintetizar metabólitos como aminoácidos, gliotoxinas, antraquinonas, pironas, fomalona e ácido harziânico que limitam o crescimento de *Fusarium* sp. patogênicos, devido a severo estresse oxidativo no patógeno (MIRONENKA et al. 2021, TYSKIEWICZ et a.; 2022).

Essa capacidade está na produção desses metabólitos que podem ser ou não voláteis, podendo desencadear efeito inibitório em *Fusarium* sp. (CHACÓN et al., 2025). Essas moléculas liberadas no meio de cultura promovem ação antimicrobiana, permitindo assim identificar cepas com potencial biocontrole.

Ressalta-se que diferentes isolados podem sintetizar metabólitos em distintas concentrações, o que resulta em diversos comportamentos de controle (MORAIS et al., 2022). Esses diferentes resultados de biocontrole denotam que cepas de *Trichoderma* sp. apresentam diversos metabólitos secundários que podem ser promissores no biocontrole de patógenos de plantas. Apresentando particularidades de efeitos diretos em patógenos específicos e também sobre as plantas, podendo afetar vias de defesa com distintas bioatividades (OBAIAH et al., 2020).

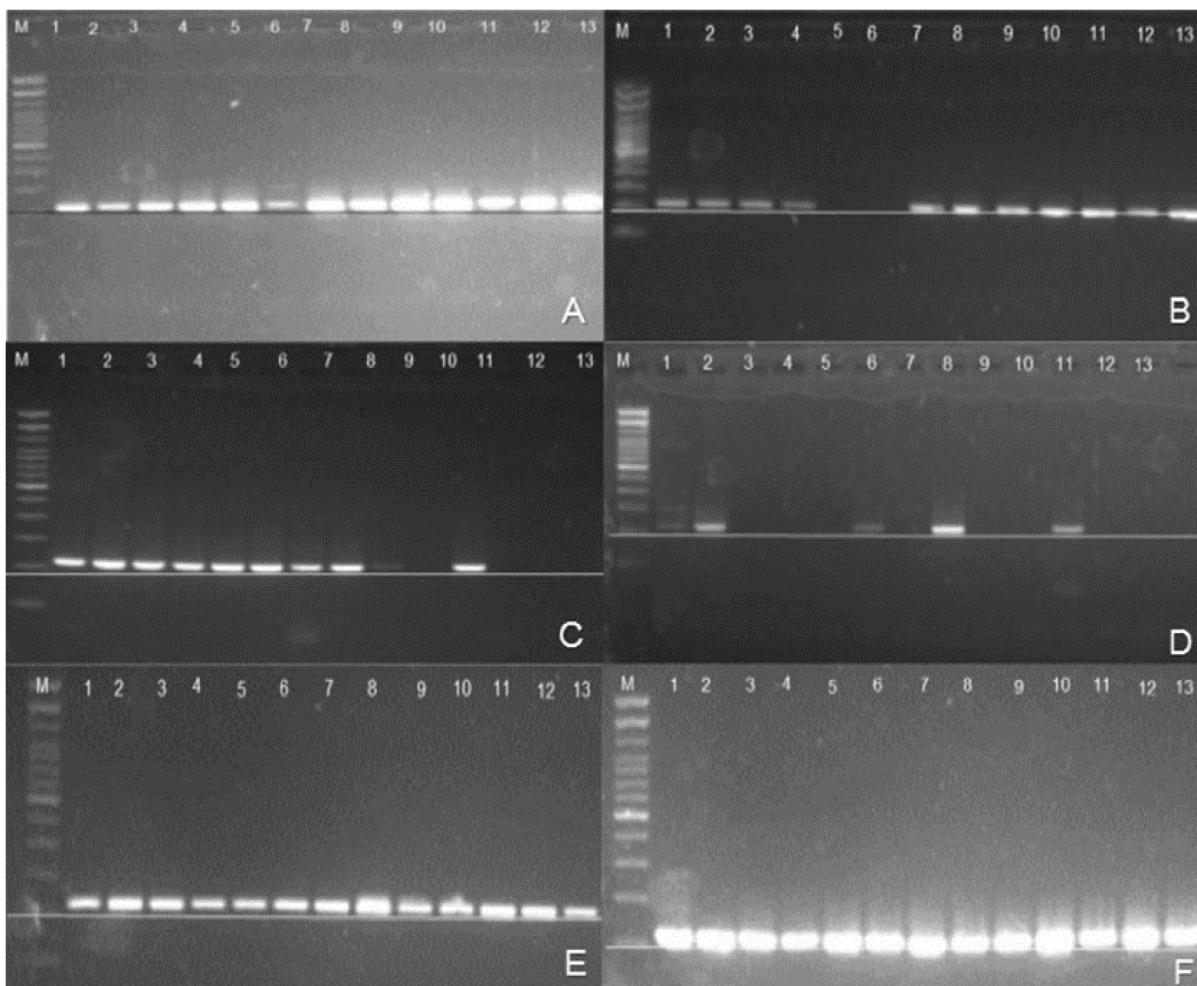
Com relação à análise molecular, verificou-se que TR01, somente com 15 dias de contato dos isolados de *Trichoderma* sp. com o *Fusarium* sp. teve inibição do genótipo de micotoxina desoxinevalenol (DON) pelas cepas FAPTRICHA₇₂ (5) e FAPTRICHA₉ (6) (Figura 4, A e B).

O isolado 69 teve inibição do genótipo de DON em contato com as cepas FAPTRICHA₉₁₀₁ (9), FAPTRICHA₉₁₀₂ (10), FAPTRICHA₁₁₀₁ (12) e FAPTRICHA₁₁₀₂ (13) de *Trichoderma* sp. em sete dias de contato no teste de confronto (Figura 5, A). Passados os 15 dias, verificou-se que as cepas FAPTRICHA₄₂₀₁ (3), FAPTRICHA₄₂₀₃ (4), FAPTRICHA₇₁ (5), FAPTRICHA₉ (7), FAPTRICHA₉₁₀₁ (9), FAPTRICHA₉₁₀₂ (10), FAPTRICHA₁₁₀₁ (12) e FAPTRICHA₁₁₀₂ (13), também proporcionaram esse mesmo efeito (Figura 4, C e D).

Para o genótipo de DON analisado no 89 não foi verificado efeito de inibição em nenhum dos períodos avaliado (Figura 4, E e F).

40

Figura 4: Produto da PCR (Reação em Cadeia da Polimerase) para genótipo de micotoxina DON (Desoxinivalenol) sintetizados por *Fusarium* sp. (TR 01(A e B), 69 (C e D) e 89 (E e F) em contato com cepas de *Trichoderma* sp., sendo FAPTRICHA₃₂ (1), FAPTRICHA₄₂₀₁ (2), FAPTRICHA₄₂₀₃ (3), FAPTRICHA₇₁ (4), FAPTRICHA₇₂ (5), FAPTRICHA₉ (6), FAPTRICHA₉₁ (7), FAPTRICHA₉₁₀₁ (8), FAPTRICHA₉₁₀₂ (9), FAPTRICHA₉₂₀₃ (10), FAPTRICHA₁₁₀₁ (11) e FAPTRICHA₁₁₀₂ (12) por sete (A) e 15 dias (B).



Fonte: GARCIA C, et al., 2025.

Analizando os resultados de PCR, observa-se diferenças entre as cepas de *Trichoderma* sp. em relação aos isolados de *Fusarium* sp. Destaca-se que somente o 69 apresentou efeito de inibição do genótipo de DON em sete e 15 dias de contato de acordo com o teste de confronto. O TR 01 com mais tempo e o 89 não obteve nenhum dos resultados (Tabela 1).

Tabela 1: Resumo da inibição do genótipo de Desoxinivalenol (DON) de *Fusarium* sp. isolados TR 01, 69 e 89 em contato com as cepas de *Trichoderma* sp., FAPTRICHA₂₁(1), FAPTRICHA₃₂ (2), FAPTRICHA₄₂₀₁ (3), FAPTRICHA₄₂₀₃ (4), FAPTRICHA₇₁ (5), FAPTRICHA₇₂ (6), FAPTRICHA₉ (7), FAPTRICHA₉₁ (8), FAPTRICHA₉₁₀₁ (9), FAPTRICHA₉₁₀₂ (10), FAPTRICHA₉₂₀₃ (11), FAPTRICHA₁₁₀₁ (12) e FAPTRICHA₁₁₀₂ (13) por sete e 15 dias.

Cepas de <i>Trichoderma</i> sp.	Isolado de <i>Fusarium</i> sp. TR 01		Isolado de <i>Fusarium</i> sp.		Isolado de <i>Fusarium</i> sp.	
			69		89	
	Sete dias	15 dias	Sete dias	15 dias	Sete dias	15 dias
FAPTRICHA21(1)	-	-	-	-	-	-
FAPTRICHA32 (2)	-	-	-	-	-	-
FAPTRICHA4201 (3)	-	-	-	X	-	-
FAPTRICHA4203 (4)	-	-	-	X	-	-
FAPTRICHA71 (5)	-	-	-	X	-	-
FAPTRICHA72 (6)	-	-	-	-	-	-
FAPTRICHA9 (7)	-	-	-	X	-	-
FAPTRICHA91 (8)	-	-	-	-	-	-
FAPTRICHA9101 (9)	-	X	X	X	-	-
FAPTRICHA9102 (10)	-	X	X	X	-	-
FAPTRICHA9203 (11)	-	-	-	-	-	-
FAPTRICHA1101 (12)	-	X	X	X	-	-
FAPTRICHA1102 (13)	-	X	X	X	-	-

Fonte: GARCIA C, et al., 2025.

A inibição de DON, provavelmente está relacionada com a redução do crescimento micelial de *Fusarium* sp. e/ou pela interferência das vias metabólicas entre esse patógeno e o *Trichoderma* sp. (MIRONENKA et al., 2021). Essa redução depende de cepas de *Trichoderma* sp. que podem reduzir a biossíntese de DON entre 72% e 100 % (BLASZCZYK et al., 2017).

Metabólitos liberados por *Trichoderma* sp. também desencadeiam mudanças fisiológicas a nível molecular em *Fusarium* sp. (MIRONENKA et al., 2021). Fato que depende das espécies analisadas e das cepas, que diferem na síntese de moléculas de acordo com a presença de patógenos. Estudos metabolômicos evidenciam a presença de metabólitos produzidos por *Trichoderma* sp., somente em contato com *Fusarium* sp. (TIAN et al., 2018).

Em teste antagônico, também foi relatado a capacidade de *Trichoderma* sp. em promover alteração na transcrição gênica, interferindo na regulação negativa de genes que codificam enzimas transportadoras de íons e/ou metabólitos (ÖZKALE et al., 2023). Dentre esses genes

estão os essenciais para a síntese de DON, como os tri₄ e tri₅, que podem ter interferência desse antagonista (SATYANARAYANA et al., 2019). O que, deve ter proporcionado nos resultados obtidos no presente estudo, que depende da cepa de ambos os microrganismos e do tempo de contato para proporcionar ou não a inibição gênica de síntese de DON.

De acordo com a cepa de *Trichoderma* sp. pode apresentar a capacidade de desintoxicar tricotecenos, como DON, por via de glicosilação (Modrzewska et al., 2024). Metabólitos secundários bioativos secretados por esse microrganismos podem ser liberados em contato com patógeno que inibem a síntese de micotoxinas, como ácidos orgânicos que podem interferir no pH do meio que irá afetar negativamente a biossíntese de DON (MADBOULY et al., 2023).

Outro fato que pode interferir na síntese de micotoxinas é o estresse oxidativo que o *Trichoderma* sp. desencadeia no *Fusarium* sp., que resulta na ativação de mecanismos de defesa do patógeno. Esse processo, pode contribuir com a elevação da biossíntese de DON (VOIGT et al., 2007) e/ou promover a biotransformação desta mitocoxina, em determinadas cepas de patógenos, demonstrando apresentar especificações de acordo com o microrganismos analisado (TIAN et al., 2018). Resultados que se assemelham aos obtidos de acordo com os isolados de *Fusarium* sp. e as cepas de *Trichoderma* sp. (Tabela 1).

CONCLUSÃO

43

Diante do contexto atual da agricultura sustentável, o uso de *Trichoderma* sp. como agente biocontrolador representa uma alternativa viável e promissora para reduzir a contaminação de grãos por fitopatógenos e micotoxinas. Estudos futuros devem explorar análises metabolômicas e transcriptômicas mais aprofundadas, visando compreender os mecanismos moleculares envolvidos na interação antagonista, além de avaliar o desempenho dessas cepas em condições de campo.

REFERÊNCIAS

- BŁASZCZYK L, et al. Containment of *Fusarium culmorum* and its mycotoxins in various biological systems by antagonistic *Trichoderma* and *Clonostachys* strains. *Journal of Fungi*, v.9, n.3, p.289, 2023.
- BŁASZCZYK L, et al. Suppressive effect of *Trichoderma* spp. on toxigenic *Fusarium* species. *Pol. J. Microbiol.*, v.66, n.85, 2017.
- CHACÓN C, et al. In vitro EFFECT OF *Trichoderma asperellum* metabolites on *Fusarium oxysporum* and *Fusarium equiseti*. *Agrociencia*, p.1-14, 2025.

CHANDLER E, et al. Development of PCR assays to *Tri7* and *Tri13* and characterisation of chemotypes of *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum* and *Fusarium cerealis*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.62, n.6, p.355-367, 2003.

FERREIRA DF. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v.37, n.4, p. 529–535, 2019.

GABARDO G, et al. Respostas fisiológicas das cultivares de soja NA5909 e TMG7062 submetidas a diferentes produtos para controle de doenças fúngicas em campo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.3, p.15673-15689, Aug. 2020.

GHORBANPOUR M, et al. Mechanisms underlying the protective effects of beneficial fungi against plant diseases. **Biological Control**, v.117, p.147-157, 2018.

HALIFU S, et al. Inhibitory mechanism of *Trichoderma virens* ZTo5 on *Rhizoctonia solani*. **Plants**, v.9, n.7, 2020.

HEWEDY OA, et al. Genetic diversity and biocontrol efficacy of indigenous *Trichoderma* isolates against *Fusarium* wilt of pepper. **Journal of basic microbiology**, v. 60, n. 2, p.126-135, 2020.

KUMARI R, et al. 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. **Microorganisms**, v.12, n.7, p.1280, 2024.

LEE T, et al. Identification of deoxynivalenol-and nivalenol-producing chemotypes of *Gibberella zae* by using PCR. **Applied and Environmental Microbiology**. Jul v.1, n.67 (7), p.2966-72, 2001. 44

MADBOULY AK, et al. Biodegradation of aflatoxin B₁ in maize grains and suppression of its biosynthesis-related genes using endophytic *Trichoderma harzianum* AYM₃. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 2, 2023.

MIRONENKA J, et al. Potential of *Trichoderma harzianum* and its metabolites to protect wheat seedlings against *Fusarium culmorum* and 2, 4-D. **International Journal of Molecular Sciences**, 22(23), 13058, 2021.

MIRONENKA J, et al. *Trichoderma harzianum* metabolites disturb *Fusarium culmorum* metabolism: Metabolomic and proteomic studies. **Microbiological Research**, v. 249, n.126770, 2021.

MODRZEWSKA M, et al. *Trichoderma* versus *Fusarium*—inhibition of pathogen growth and mycotoxin biosynthesis. **Molecules**, v.27, n.23, p.8146, 2022.

MODRZEWSKA M, et al. Antagonistic properties against *Fusarium sporotrichioides* and glycosylation of HT-2 and T-2 toxins by selected *Trichoderma* strains. **Scientific Reports**, v.14, n.1, 2024.

MORAIS EM, et al. Endophytic *Trichoderma* strains isolated from forest species of the Cerrado-Caatinga ecotone are potential biocontrol agents against crop pathogenic fungi. **Plos one**, v. 17, n. 4, 2022.

NEŠIĆ K, et al. Possibilities for the biological control of mycotoxins in food and feed. **Toxins**, v.13, n.3, p.198, 2021.

OBAIAH N, et al. Synthesis of 3-[¹H-Benzimidazol-2-ylsulfanyl](aryl) methyl]-4-hydroxycoumarin derivatives as potent bioactive molecules. **ChemistrySelect**, v. 5, n. 1, p.178-184, 2020.

ÖZKALE E, et al. *Trichoderma atroviride* suppresses *Fusarium graminearum* by altering primary and secondary metabolite biosynthesis profiling. **Plant Pathology**, v. 72, n. 8, p.1428-1441, 2023.

QUARTA A, et al. Multiplex PCR assay for the identification of nivalenol, 3-and 15-acetyl-deoxynivalenol chemotypes in *Fusarium*. **FEMS Microbiology Letters**, Jun v.1, n. 259, p.1-7-13, 2006.

RAJANI P, et al. Inhibition of plant pathogenic fungi by endophytic *Trichoderma* spp. through mycoparasitism and volatile organic compounds. **Microbiological Research**, 242, 126595, 2021.

SATYANARAYANA T, et al. Advancing frontiers in mycology & mycotechnology. **Springer Singapore**, 2019.

SCOZ LB, et al. Trichothecene mycotoxin genotypes of *Fusarium graminearum* sensu stricto and *Fusarium meridionale* in wheat from southern Brazil. **Plant Pathology**, v.58, n.2, p.344-351, 2009.

45

STRACQUADANIO C, et al. Antifungal activity of bioactive metabolites produced by *Trichoderma asperellum* and *Trichoderma atroviride* in liquid medium. **Journal of Fungi**, v. 6, n.4, p.263, 2020.

THAMBUGALA KM, et al. Fungi vs. fungi in biocontrol: An overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. **Frontiers in cellular and infection microbiology**, v.10, 604923, 2020.

TIAN Y, et al. Antagonistic and detoxification potentials of *Trichoderma* isolates for control of zearalenone (ZEN) producing *Fusarium graminearum*. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. 2710, 2018.

TIAN Y, et al. Elimination of *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol (DON) via microbial and enzymatic strategies: Current status and future perspectives. **Trends in Food Science & Technology**, v.124, p.96-107, 2022.

TYŚKIEWICZ R, 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, 2022.



VOIGT CA, et al. Enhanced mycotoxin production of a lipase-deficient *Fusarium graminearum* mutant correlates to toxin-related gene expression. European **Journal of Plant Pathology**, v. 117, p.1-12, 2007.