

RESPOSTA DE CULTIVARES DE TRIGO À INOCULAÇÃO DE FUNGOS DO GÊNERO TRICHODERMA¹

RESPONSE OF WHEAT CROPS TO TRICHODERMA FUNGUS INOCULATION

**Gerusa Pauli Kist Steffen², Ricardo Bemfica Steffen³, Dejair José Tomazzi⁴,
Nilton Luís Gabe⁵, Joseila Maldaner⁶ e Madalena Boeni⁷**

RESUMO

O uso de microrganismos promotores de crescimento representa uma estratégia sustentável para aumento da produtividade e qualidade de cultivos agrícolas. Este estudo objetivou determinar a resposta produtiva de trinta cultivares de trigo à inoculação de duas espécies de fungos do gênero *Trichoderma*. Na safra de 2020, a espécie *T. harzianum* foi inoculada nas parcelas experimentais através de pulverização aérea, e a espécie *T. asperelloides* inoculada via tratamento de sementes na safra de 2021. Os ensaios foram conduzidos em condições de campo sem irrigação, em área experimental pertencente à Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os tratamentos avaliados foram compostos pelo esquema bifatorial (cultivar x inoculação) em delineamento experimental blocos ao acaso com quatro repetições. A resposta produtiva da cultura do trigo à inoculação de fungos do gênero *Trichoderma* foi variável conforme o cultivar de trigo e a espécie de microrganismo. Dos 30 cultivares de trigo que receberam a inoculação de *T. harzianum* na safra de 2020, 15 cultivares responderam de forma positiva à aplicação do bioinsumo, com incrementos produtivos variáveis entre 0,8 e 20%. A inoculação de *T. asperelloides* incrementou a produtividade de 12 cultivares de trigo na safra de 2021, com percentuais entre 3,91 e 27,20%. Os cultivares de trigo que apresentaram incremento produtivo em condições de campo com o uso de ambos os bioinsumos foram: FPS Cetero, LG Fortaleza, LG Cromo, LG Oro, Inova, BRS 327, BRS Belajoia, BRS Reponte e TBIO Sinuelo.

Palavras-chave: Insumos biológicos; *Trichoderma asperelloides*; *Trichoderma harzianum*; *Triticum aestivum* L.; promotor de crescimento.

1 Trabalho de pesquisa científica.

2 Pesquisadora do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do estado do RS. Email: gerusa-steffen@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0464-567X>

3 Pesquisador da BioTec RS Tecnologia e Consultoria. E-mail: agronomors@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2736-9329>

4 Pesquisador do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do estado do RS. Email: dejairtomazzi@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3900-3346>

5 Pesquisador do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do estado do RS. Email: nilton-gabe@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7987-5960>

6 Pesquisadora do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do estado do RS. Email: joseila-maldaner@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3008-5047>

7 Pesquisadora do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do estado do RS. Email: madalena-boeni@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2202-2011>

ABSTRACT

The use of growth-promoting microorganisms represents a sustainable strategy to increase the productivity and quality of agricultural crops. This study aimed to determine the productive response of thirty wheat cultivars to inoculation with two species of fungi of the genus *Trichoderma*. The species *T. harzianum* was inoculated in the experimental plots by spraying in the 2020 harvest, and the species *T. asperelloides* was inoculated via seed treatment in the 2021 harvest. The trials were conducted under field conditions without irrigation, in an experimental area belonging to the Secretariat of Agriculture, Livestock, Sustainable Production and Irrigation of the Rio Grande do Sul state, Brazil. The treatments evaluated consisted of a bifactorial scheme (cultivar x inoculation) in a randomized block experimental design with four replications. The productive response of the wheat crop to inoculation with fungi of the genus *Trichoderma* was variable according to the wheat cultivar and the species of microorganism. Of the 30 wheat cultivars that received *T. harzianum* inoculation in the 2020 harvest, 15 cultivars responded positively to the application of the bioinput, with production increases ranging from 0.8 to 20%. The inoculation of *T. asperelloides* increased the productivity of 12 wheat cultivars in the 2021 harvest, with percentages between 3.91 and 27.20%. The wheat cultivars that showed production increases under field conditions with the use of both bioinputs were: FPS Cetero, LG Fortaleza, LG Cromo, LG Oro, Inova, BRS 327, BRS Belajoia, BRS Reponte and TBIO Sinuelo.

Keywords: Biological inputs; *Trichoderma asperelloides*; *Trichoderma harzianum*; *Triticum aestivum L.*; growth promoter.

INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum L.*) é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo, juntamente com o milho (*Zea mays L.*) e o arroz (*Oriza sativa L.*), sendo o cereal de estação fria com maior área e produtividade a nível mundial. Na safra de 2023, foram cultivados 3.388.386 ha e produzidos 7.753.911 toneladas de trigo no Brasil. Dentre as regiões brasileiras produtoras de trigo, a região Sul se destaca, produzindo 89,5% do total de grãos no País (IBGE, 2024).

O rendimento médio da cultura do trigo na safra de 2023 no Brasil, foi de 2.288 kg.ha⁻¹, havendo um aumento da expectativa média de produtividade para a safra de 2024, chegando a 3.160 kg.ha⁻¹ (IBGE, 2024). No estado do Rio Grande do Sul (RS), a média de rendimento de grãos de trigo é superior às últimas médias nacionais. Segundo dados oficiais fornecidos pelos ensaios estaduais de cultivares de trigo, a média de rendimento de grãos foi de 5.076 kg.ha⁻¹ na safra de 2020 (CASTRO *et al.*, 2021) e de 4.927 kg.ha⁻¹ no ano de 2021 (CASTRO *et al.*, 2023).

Existem diferenças em relação ao potencial produtivo dos diferentes cultivares comerciais disponíveis para cultivo no sul do Brasil, sendo estas informações disponibilizadas aos agricultores e ao público técnico em publicações anuais. Dentre as estratégias para incremento produtivo e melhoria da qualidade dos cultivos agrícolas está o uso de bioinsumos. Fungos do gênero *Trichoderma* encontram-se entre os principais agentes biológicos utilizados no Brasil e no mundo com o objetivo de promover crescimento vegetal e controlar doenças (MACHADO *et al.*, 2012; BEM AMIRA *et al.*, 2017). Os benefícios do uso destes microrganismos na produção vegetal devem-se aos

diferentes mecanismos de ação, que envolvem a competição, a promoção de crescimento, o micoparasitismo, a antibiose e a indução de resistência (CARRERO-CARRÓN *et al.*, 2016; MARRA *et al.*, 2020; ABDENACEUR *et al.*, 2022).

Efeitos positivos da inoculação de *Trichoderma* sp. já foram relatados para as culturas da soja (PAUL; RAKSHIT, 2021; SENGER *et al.*, 2023; ZILLES *et al.*, 2025), do milho (STEFFEN *et al.*, 2021a; MENESES *et al.*, 2022; ARAÚJO *et al.*, 2023), da mandioca (STEFFEN *et al.*, 2022), bem como em cultivos olerícolas (CHEN *et al.*, 2021; STEFFEN *et al.*, 2021b; VELASCO *et al.*, 2021; HASAN *et al.*, 2023) e espécies florestais (PECCATTI *et al.*, 2019; GRIEBELER *et al.*, 2021; GRIEBELER *et al.*, 2023; CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2024). No entanto, considerando-se que microrganismos do gênero *Trichoderma* apresentam diferenças de metabolismo e habilidades quanto à promoção de crescimento vegetal em nível de espécie e até mesmo entre cepas pertencentes a uma espécie, é fundamental determinar a eficiência agronômica das distintas cepas de microrganismos frente a diferentes cultivares de uma mesma espécie vegetal. Assim, é possível conhecer quais são os fatores envolvidos na eficiência dos agentes biológicos de interesse agrícola, especialmente de cepas microbianas oriundas de solos agrícolas do estado do RS, já adaptadas às condições de solo e clima regionais. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi determinar a resposta produtiva de trinta cultivares de trigo à inoculação de duas espécies não comerciais de fungos do gênero *Trichoderma*, obtidas a partir de amostras de solos do RS.

MATERIAL E MÉTODOS

Ensaios de campo foram conduzidos na área experimental do Centro de Pesquisa José Pereira Alvarez, localizada no município de São Borja (RS), nos anos agrícolas de 2020 e 2021. A área de pesquisa é pertencente ao Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA) da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI) do estado do RS.

O solo do local é classificado como Nitossolo, Unidade de Mapeamento São Borja, e apresentou os seguintes parâmetros de fertilidade química: pH em água = 5,6; fósforo (Mehlich 1) = 10,5 mg dm⁻³; potássio = 102,16 mg dm⁻³; matéria orgânica = 2,36 %; cálcio = 5,23 cmolc dm⁻³; magnésio = 2,11 cmolc dm⁻³ e CTC_{pH7,0} = 12,23 cmolc dm⁻³, determinados segundo metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

As cepas não comerciais de *Trichoderma* sp. avaliadas pertencem às espécies *T. harzianum* (cepa TF13) e *T. asperelloides* (cepa TF04) e fazem parte da coleção de fungos benéficos do DDPA/SEAPI. O inóculo líquido foi produzido no Laboratório de Insumos Biológicos do Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa Florestal (CEFLOR/DDPA/SEAPI) e levado até a área experimental no dia da inoculação dos microrganismos.

Na safra de 2020, a espécie *T. harzianum* foi inoculada nas parcelas experimentais através de uma única pulverização aérea com calda contendo $1,55 \times 10^5$ esporos mL⁻¹. A inoculação das plantas ocorreu em estádio 1, equivalente ao desenvolvimento da folha, 30 dias após a semeadura do ensaio, ocorrida no dia 25/5/2020. O volume de calda aplicado foi de 8,5L em 370m². Já na safra de 2021, a inoculação do fungo *T. asperelloides* ocorreu através do tratamento de sementes (TS) no momento da semeadura, realizada no dia 26/5/2021. O TS ocorreu momentos antes da semeadura e consistiu na homogeneização de 10 mL de inóculo por quilograma de sementes no interior de embalagem plástica resistente. A homogeneização do inóculo nas sementes ocorreu de forma manual através de movimentos circulares realizados durante dois minutos. A concentração do inóculo foi determinada previamente em laboratório, sendo de 9×10^6 esporos mL⁻¹. Para fins de comparação, realizou-se o mesmo procedimento de TS para o tratamento testemunha, porém com a utilização de 10 mL de água destilada por quilograma de sementes.

Trinta cultivares de trigo foram avaliados nos dois anos agrícolas: BRS 327, BRS Belajoia, BRS Marcante, BRS Reponte, CD 1303, Celebra, Esporão, FPS Amplitude, FPS Cetero, FPS Regente, Inova, LG Cromo, LG Fortaleza, LG Oro, LG Suporte, ORS 1401, ORS1403, ORS Agile, ORS Citrino, ORS Madrepérola, ORS Vintecinco, TBIO Astro, TBIO Aton, TBIO Audaz, TBIO Duque, TBIO Ponteiro, TBIO Sinuelo, TBIO Sonic, TBIO Sossego e TBIO Toruk. Estas cultivares pertencem às organizações Biotrigo, Coodetec, Embrapa, Fundação Pró-Sementes, Limagrain, OR Sementes e Sementes Roos.

Os tratamentos avaliados foram compostos pelo esquema bifatorial (cultivar x inoculação) em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por cinco fileiras de cinco metros de comprimento, espaçadas 0,2 m entre si, correspondendo a uma área útil de 5 m² (Figura 1). A densidade de plantas foi de aproximadamente 330 plantas.m⁻². O manejo da adubação, os tratos culturais, as aplicações de fungicidas e inseticidas e as épocas de semeadura seguiram as indicações da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, que estão relatadas nos livros de informações técnicas sobre os ensaios estaduais de cultivares de trigo para as safras de 2020 (CASTRO *et al.*, 2021) e 2021 (CASTRO *et al.*, 2023).

Figura 1 - Área experimental do Centro de Pesquisa José Pereira Alvarez, localizada no município de São Borja (RS), pertencente à Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do estado do RS.



A

B

Fonte: Gerusa Pauli Kist Steffen e Ricardo Bemfica Steffen.

Amostras de plantas foram coletadas durante o ciclo da cultura para avaliação dos possíveis efeitos de promoção de crescimento das plantas pela inoculação dos fungos do gênero *Trichoderma* (Figura 1B). Ao final do ciclo da cultura, os grãos de cada parcela colhida foram armazenados em embalagens de papel e, após atingirem umidade de 13%, foram pesados em balança de precisão para determinação da produtividade média por hectare e do peso de hectolitro. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O potencial produtivo das culturas agrícolas é resultante de grande número de fatores relacionados à genética e qualidade das sementes, a fatores ambientais, condições de solo, nutrição vegetal, pressão de pragas, doenças, manejos adotados, uso de ferramentas tecnológicas, dentre outros. Isto explica a variabilidade de médias produtivas das culturas entre propriedades e anos agrícolas distintos, o que torna ainda mais desafiadora a produção vegetal. De acordo com Cunha *et al.* (2005), a diversidade climática regional e o nível de tecnologia usado nos sistemas de produção podem ser considerados como as principais causas de variação no rendimento de grãos de trigo entre locais e anos no estado do RS.

A elevada diferença climática ocorrida nos anos de 2020 e 2021 no estado do RS contribuiu para a variabilidade das médias produtivas dos 30 cultivares de trigo avaliados neste trabalho (Tabela 1, Figura 2). Observou-se incremento do potencial produtivo de 29 dos 30 cultivares de trigo

no ano de 2021 em relação às produtividades observadas no ano anterior, o que possivelmente esteja relacionado com a ocorrência de condições ambientais mais favoráveis à cultura do trigo, especialmente radiação solar (Figura 2).

Tabela 1 - Variação da produtividade média de 30 cultivares de trigo nas safras de 2020 e 2021.

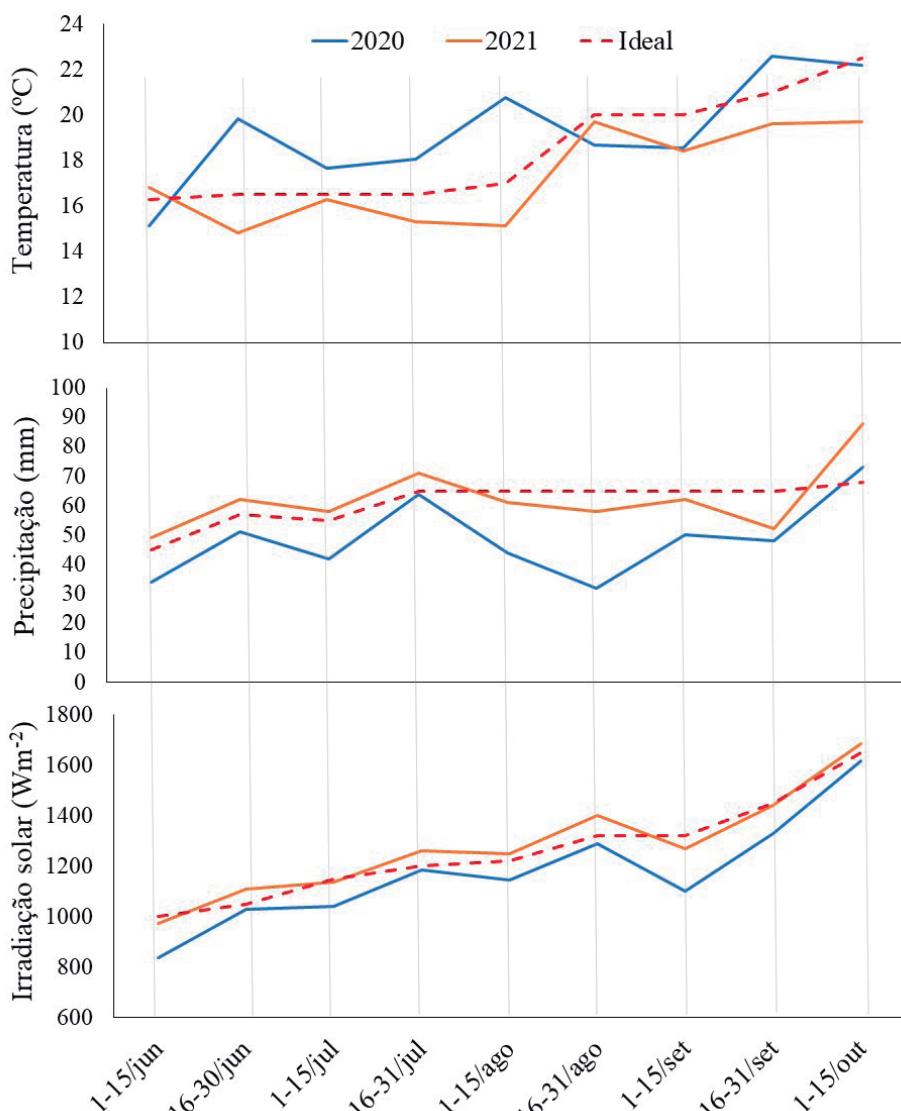
Cultivares	Safra 2020	Safra 2021	Incremento produtivo (%)
FPS Regente	2402	5015	108,78
TBIO Sossego	2656	5315	100,11
TBIO Sonic	2186	4360	99,45
TBIO Ponteiro	2835	5580	96,83
ORS Agile	2509	4900	95,30
BRS Marcante	2789	5315	90,57
ORS Madrepérola	2653	4790	80,55
BRS Belajoia	2619	4670	78,31
TBIO Sinuelo	2898	5115	76,50
TBIO Audaz	2815	4850	72,29
TBIO Duque	2847	4860	70,71
LG Oro	2566	4325	68,55
ORS1403	2784	4675	67,92
ORS Citrino	2778	4635	66,85
FPS Amplitude	2738	4455	62,71
TBIO Aton	2940	4760	61,90
CD 1303	2805	4425	57,75
TBIO Toruk	2841	4320	52,06
ORS 1401	2736	4155	51,86
BRS 327	2649	3950	49,11
Celebra	2636	3580	35,81
LG Suporte	3093	4175	34,98
ORS Vintecinco	3087	4065	31,68
TBIO Astro	2132	2790	30,86
Esporão	3053	3905	27,91
FPS Certero	2580	3180	23,26
BRS Reponte	2694	3185	18,23
LG Cromo	2581	3040	17,78
Inova	2276	2425	6,55
LG Fortaleza	2557	2495	-2,42

Fonte: Construção dos autores.

Utilizando-se como referência a linha tracejada na figura 2, a qual apresenta as condições ideais de temperatura, precipitação e irradiação solar para o desenvolvimento de produtividade do trigo (WAHDAN *et al.*, 2023; WU *et al.*, 2024), observa-se que o período agrícola de 2021 apresentou dados climáticos similares aos ideais para a cultura. Provavelmente, estes fatores climáticos mais favoráveis expliquem em partes a maior produtividade observada no ano de 2021 em comparação ao ano de 2020 para as cultivares avaliadas neste trabalho.

Segundo Wahdan *et al.* (2023) e Wu *et al.* (2024), a temperatura atmosférica desempenha papel essencial na produtividade do trigo, pois interfere diretamente nos processos fisiológicos como a germinação, o crescimento e o desenvolvimento da planta. Temperaturas adequadas favorecem a germinação das sementes e a formação de raízes saudáveis, essenciais para a absorção de nutrientes e água. Quando as temperaturas estão abaixo ou acima das faixas ideais, todo o ciclo da cultura é impactado, resultando na redução significativa da produtividade (WAHDAN *et al.*, 2023). Da mesma forma, a umidade do solo também é um fator determinante da produtividade das culturas. O trigo é um cereal que necessita de quantidades ideais de água disponível para realizar a fotossíntese, o transporte de nutrientes e o crescimento vegetal em geral (BHANDARI *et al.*, 2024). Solos com umidade insuficiente podem resultar em condições de estresse oxidativo, causando redução na taxa de crescimento e no desenvolvimento dos grãos (TIAN *et al.*, 2022; BHANDARI *et al.*, 2024).

Figura 2 - Médias de temperatura atmosférica, precipitação e irradiação solar durante o ciclo da cultura nos anos agrícolas 2020 e 2021.



Fonte: Construção dos autores.

A interação entre os fatores ambientais temperatura, umidade, intensidade e qualidade da luz solar impactam diretamente a taxa de fotossíntese, permitindo que as plantas produzam carboidratos essenciais para o seu crescimento (YANAGI, 2024). O alcance do potencial produtivo do trigo depende diretamente da irradiação solar no desenvolvimento reprodutivo da cultura. A luz solar é crucial para a floração e a formação de grãos, sendo que a duração do dia (fotoperíodo) pode interferir diretamente nesses processos reprodutivos. Condições climáticas como presença de nuvens e ocorrência de chuvas reduzem a disponibilidade de irradiação solar, o que, por sua vez, podem impactar negativamente a produtividade da cultura do trigo em períodos de excesso de nebulosidade e precipitação (YANAGI, 2024). Além disso, a relação entre as condições climáticas durante o ciclo da cultura e a resposta a insumos biológicos no desenvolvimento e produtividade do trigo é complexa e influencia diretamente a eficiência de bioinsumos (DUBYTSKYI *et al.*, 2022; REBOUH *et al.*, 2023; DAUNORAS *et al.*, 2024).

As condições climáticas, como temperatura, precipitação e irradiação solar, influenciam a atividade das plantas em termos de exsudação radicular e, por consequência, interferem na atividade da microbiologia do solo e na produtividade das plantas. Temperaturas ideais e níveis adequados de umidade no solo favorecem a multiplicação de microrganismos benéficos, como bactérias e fungos, que ajudam na decomposição da matéria orgânica e na liberação de nutrientes essenciais para o trigo (DUBYTSKYI *et al.*, 2022; REBOUH *et al.*, 2023). Em contrapartida, condições extremas, como secas prolongadas ou excesso de umidade, podem prejudicar a atividade biológica e limitar a eficácia dos insumos biológicos, resultando em respostas menos expressivas nas plantas (DAUNORAS *et al.*, 2024). Da mesma forma, as condições climáticas influenciam a interação entre o trigo e os insumos biológicos, como inoculantes, biocontroladores, bioestimuladores e biofertilizantes. Portanto, compreender a relação entre clima e a resposta a insumos biológicos é essencial para otimizar as práticas agrícolas e garantir uma produtividade sustentável do trigo, adaptando o uso de insumos às condições específicas de cada região e época do ano (REBOUH *et al.*, 2023).

Com exceção da cultivar LG Fortaleza, que apresentou decréscimo de produtividade no ano de 2021 em relação ao ano anterior, as demais 29 cultivares apresentaram incrementos produtivos que variaram de 6,55 a 108%, demonstrando a importância das variáveis ambientais na expressão do potencial produtivo do trigo no estado do RS (Tabela 1).

Em relação ao efeito do uso de fungos do gênero *Trichoderma*, as cultivares de trigo apresentaram respostas distintas à inoculação das duas espécies inoculadas nos dois anos agrícolas. Das 30 cultivares de trigo que receberam a inoculação de *T. harzianum* na safra de 2020, 15 cultivares responderam de forma positiva à aplicação do bioinsumo, com incrementos produtivos variáveis entre 0,8 a 20% (Tabela 2).

Tabela 2 - Incremento de produtividade de cultivares de trigo pela inoculação de *Trichoderma harzianum* (cepa TF13) no ano de 2020. Médias de quatro repetições.

Cultivares	Produtividade média		I (%)**	Peso de hectolitro		I (%)**
	Sem inoculação	Com inoculação		Sem inoculação	Com inoculação	
TBIO Sossego	2656 B*	3186 A	19,95	82,75	83,3	0,66
FPS Certero	2580 B	3004 A	16,43	83,05	85,2	2,59
Inova	2276 B	2619 A	15,07	80,15	82,9	3,43
LG Cromo	2581 B	2889 A	11,93	79,05	79,25	0,25
CD 1303	2805 B	3061 A	9,13	82,6	84,05	1,76
BRS Belajoia	2619 A	2812 A	7,37	81,5	83,1	1,96
LG Oro	2566 A	2732 A	6,47	80,35	81,7	1,68
TBIO Sinuelo	2898 A	3074 A	6,07	81,6	83,55	2,39
TBIO Audaz	2815 A	2944 A	4,58	82,15	84,05	2,31
ORS1403	2784 A	2880 A	3,45	82,4	84,7	2,79
BRS 327	2649 A	2736 A	3,28	81,6	83,1	1,84
ORS Madrepérola	2653 A	2729 A	2,86	81,75	82,9	1,41
Esporão	3053 A	3135 A	2,69	83,1	86,1	3,61
BRS Reponte	2694 A	2737 A	1,59	82,5	85,65	3,82
LG Fortaleza	2557 A	2577 A	0,78	83,3	85,4	2,52

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Porcentagem de incremento médio de produtividade e de peso de hectolitro do tratamento com inoculação sobre o tratamento sem inoculação.

Fonte: Construção dos autores

Das 15 cultivares que apresentaram incrementos numéricos de produtividade pelo uso do bioinsumo, somente cinco cultivares apresentaram incrementos significativos. No entanto, do ponto de vista técnico e econômico, além do fator produtividade existe outro parâmetro muito importante a ser considerado na cultura do trigo, que é o peso de hectolitro. O peso de hectolitro, também conhecido como PH, corresponde à massa de 100 litros de trigo expressa em quilos. Esta medida impacta diretamente no valor pago ao produtor, sendo um parâmetro relacionado à qualidade do trigo e à moagem do cereal na produção de farinhas. Neste trabalho, observou-se que a inoculação de *T. harzianum* (cepa TF13) nas diferentes cultivares de trigo proporcionou incrementos variáveis entre 0,25 a 3,82% do peso de hectolitro dos grãos, o que representa benefícios econômicos para os produtores (Tabela 2).

As cultivares de trigo que não apresentaram resposta positiva à inoculação de *T. harzianum* (cepa TF13) foram: TBIO Duque, BRS Marcante, TBIO Toruk, TBIO Sonic, TBIO Ponteiro, TBIO Aton, TBIO Astro, FPS Regente, FPS Amplitude, LG Suporte, Celebra, ORS Citrino, ORS 1401, ORS Agile e ORS Vintecinco. Possivelmente, estes resultados possam estar relacionados à especificidade entre as cultivares e a espécie de *Trichoderma* avaliada, o que demonstra a importância da validação técnica das respostas de cultivares aos diferentes agentes biológicos.

Em relação à inoculação da cepa de *T. asperelloides* (cepa TF04) na safra de 2021, novamente foi observado efeito variável do microrganismo sobre a produtividade das cultivares de trigo. Doze cultivares apresentaram incrementos numéricos da produtividade com a inoculação do microrganismo,

variando de 3,91 a 27,20% na cultivar FPS Certero, sendo que incrementos significativos foram observados em seis cultivares (Tabela 3).

Tabela 3 - Respostas produtivas de cultivares de trigo à inoculação do fungo *Trichoderma asperelloides* (cepa TF04) no ano de 2021. Médias de quatro repetições.

Cultivares	Produtividade média			Peso de hectolitro		
	Sem inocula- ção	Com inocu- lação	I (%)**	Sem inocula- ção	Com inocu- lação	I (%)**
FPS Certero	3180 B*	4045 A	27,20	76,45	76,80	0,46
LG Fortaleza	2495 B	3085 A	23,65	79,23	79,75	0,66
TBIO Astro	2790 B	3400 A	21,86	79,32	79,57	0,32
LG Suporte	4175 B	4855 A	16,29	78,80	80,48	2,13
Inova	2425 B	2700 A	11,34	76,78	77,25	0,61
BRS 327	3950 B	4370 A	10,63	76,35	78,35	2,62
BRS Belajoia	4670 A	4860 A	4,07	80,58	81,98	1,71
BRS Reponte	3185 A	3440 A	8,01	76,08	76,33	0,33
LG Cromo	3040 A	3195 A	5,10	70,03	74,98	7,07
ORS Vintecinco	4065 A	4265 A	4,92	80,92	81,70	0,95
LG Oro	4325 A	4515 A	4,39	78,13	79,28	1,47
TBIO Sinuelo	5115 A	5315 A	3,91	80,85	80,87	0,02

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Porcentagem de incremento médio de produtividade e de peso de hectolitro do tratamento com inoculação sobre o tratamento sem inoculação.

Fonte: Construção dos autores

Assim como observado na safra anterior, algumas cultivares que não apresentaram efeito significativo de incremento de produtividade pela inoculação do microrganismo, apresentaram aumentos expressivos da variável peso de hectolitro, o que representa um importante benefício econômico. É o caso da cultivar LG Cromo, que embora não tenha apresentado incremento significativo em produtividade (kg/ha) pela inoculação de *T. asperelloides* (cepa TF04), aumentou em 7,07% o valor de peso de hectolitro (Tabela 3).

As cultivares de trigo que não apresentaram resposta positiva à inoculação de *T. asperelloides* (cepa TF04) foram: BRS Marcante, TBIO Ponteiro, TBIO Duque, TBIO Toruk, TBIO Sonic, TBIO Aton, TBIO Audaz, TBIO Sossego, Celebra, FPS Regente, FPS Amplitude, Esporão, FPS Amplitude, ORS Citrino, ORS 1401, ORS 1403, ORS Agile e ORS Madrepérola.

De uma forma geral, observou-se uma tendência semelhante para a maioria das cultivares de trigo em relação à resposta positiva à inoculação do agente microbiano. Salvo algumas exceções, as cultivares que apresentaram produtividades mais baixas no ano agrícola de 2020, apresentaram incrementos na produtividade pela inoculação de *Trichoderma* sp., o que demonstra o potencial que estes microrganismos possuem de elevar a produtividade de cultivares de trigo que apresentam menores potenciais produtivos (Figura 3).

Figura 3 - Relação entre a resposta de cultivares de trigo à inoculação de *Trichoderma harzianum* (cepa TF13) e *Trichoderma asperelloides* (cepa TF04) e o nível de produtividade das cultivares na ausência do uso dos microrganismos.

Produtividade de trigo (ton.ha ⁻¹)	Safras 2020		Safras 2021	
	Inoculação de <i>Trichoderma harzianum</i>	Inoculação de <i>Trichoderma asperelloides</i>	Inoculação de <i>Trichoderma harzianum</i>	Inoculação de <i>Trichoderma asperelloides</i>
	Com efeito	Sem efeito	Com efeito	Sem efeito
4,0 a 5,5	-	-	LG Oro LG Suporte BRS Belajóia TBIO Sinuelo ORS Vintecinco	CD 1303 TBIO Audaz TBIO Sossego ORS 1403 ORS Madrepérola
3,0 a 3,9	Esporão	LG Suporte ORS Vintecinco	LG Cromo FPS Cetero BRS 327 BRS Reponte	Esporão
2 a 2,9	Inova LG Oro LG Cromo LG Fortaleza FPS Cetero BRS Belajóia BRS 327 BRS Reponte TBIO Sinuelo TBIO Audaz TBIO Sossego CD 1303 ORS 1403 ORS Madrepérola	TBIO Astro	Inova LG Fortaleza TBIO Astro	

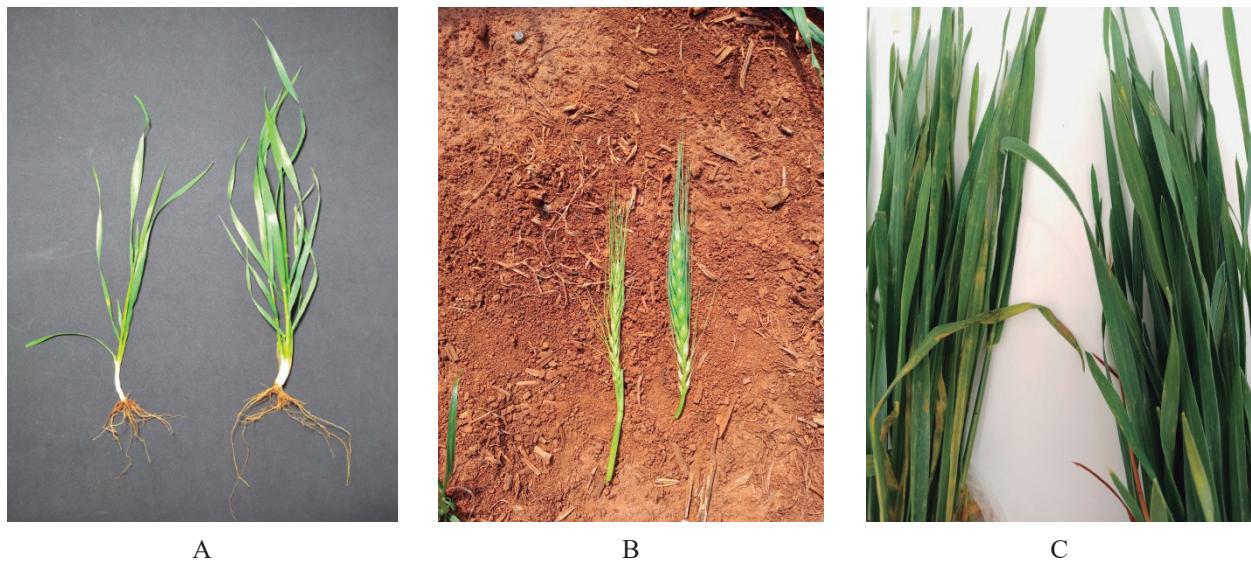
Fonte: Construção dos autores

É muito provável que o incremento da produtividade de trigo pela inoculação de *Trichoderma* sp. esteja relacionado ao fato destes fungos estimularem o desenvolvimento radicular e, consequentemente, favorecerem a absorção de água e nutrientes (HARMAN, 2006; SHORESH *et al.*, 2010; ABDENACEUR *et al.*, 2022). Por esta razão, resultados mais evidentes e positivos do uso de microrganismos promotores de crescimento são observados em épocas ou ambientes produtivos nos quais as plantas foram submetidas a condições de estresses, sejam eles proporcionados por fatores bióticos ou abióticos. São justamente em eventos de estresse, que os agentes biológicos demonstram o potencial de auxiliar a planta a solucionar questões de déficit hídrico, estresse térmico, estresse salino ou presença de fitopatógenos, evidenciando os benefícios do uso de bioinsumos na produção vegetal.

Neste trabalho, benefícios da inoculação das espécies de *Trichoderma* sp. sobre a promoção de crescimento vegetal de plantas de trigo foram observados em diversas cultivares ao longo do ciclo da cultura. Na cultivar TBIO Sossego, por exemplo, as plantas inoculadas com *T. harzianum* cepa TF13 apresentaram maior desenvolvimento radicular e da parte aérea, resultando em maior desenvolvimento da espiga em comparação às plantas que não foram inoculadas. Além do efeito de promoção de crescimento e desenvolvimento vegetal, foi evidente a contribuição do bioinsumo na sanidade

das plantas, observando-se menor incidência de doenças na parte aérea das plantas inoculadas com *T. harzianum* (Figura 4).

Figura 4 - Efeito da inoculação de *Trichoderma harzianum* cepa TF13 sobre o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular (A), o tamanho da espiga (B) e a sanidade das folhas (C) de plantas de trigo cultivar TBIO Sossego não inoculadas (plantas da esquerda) e inoculadas (plantas da direita) com o fungo.



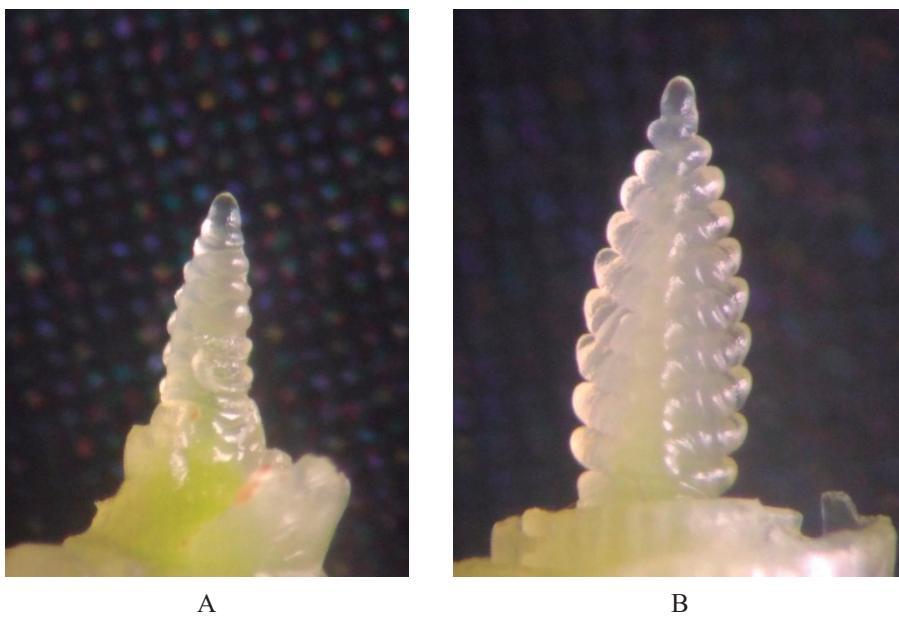
Fonte: Ricardo Bemfica Steffen e Gerusa Pauli Kist Steffen

A produtividade final da cultura do trigo é resultado de vários fatores, sendo o potencial produtivo definido muito antes do surgimento das espigas no estádio 5.0, conhecido como espigamento. A espigueta terminal pode ser observada internamente na planta no início do período de alongamento da cultura, a partir do estádio 3.1, quando a planta apresenta o 1º nó visível. Portanto, manejos e tecnologias que promovam maior desenvolvimento da planta desde os estágios iniciais, apresentam potencial de incremento da produtividade em condições de clima favorável. Neste trabalho, ao analisar o desenvolvimento da espigueta terminal de plantas de trigo cultivar TBIO Sossego inoculadas e não inoculadas com *T. harzianum* cepa TF13 na fase de alongamento da cultura, observou-se maior desenvolvimento da espigueta terminal das plantas que receberam a inoculação do fungo (Figura 5). Provavelmente, o estímulo ao desenvolvimento da espigueta terminal seja um dos fatores que tenha contribuído para o aumento da produtividade de grãos desta cultivar em relação às plantas que não receberam a aplicação do bioinsumo.

No ano agrícola de 2021, quando as condições climáticas foram mais favoráveis à cultura do trigo e as cultivares apresentaram maiores médias produtivas, não ficou tão evidente a contribuição do fungo *T. asperelloides* (cepa TF04) sobre a produtividade da maioria das cultivares (Figura 2). Embora a inoculação deste microrganismo tenha resultado no aumento da produtividade de três cultivares de menor potencial produtivo, cinco cultivares que haviam respondido à inoculação de *T. asperelloides* (cepa TF04) e apresentado produtividade abaixo de 3 toneladas por hectare na safra

de 2020 (CD 1303, TBIO Audaz, TBIO Sossego, ORS 1403 e ORS Madrepérola), apresentaram produtividades superiores a 4 toneladas por hectare na safra de 2021, quando não apresentaram resposta à inoculação do fungo (Figura 2). Além da interferência das variáveis climáticas e do potencial produtivo dos inúmeros cultivares de trigo, é muito provável que exista especificidade entre a espécie de fungo do gênero *Trichoderma* que foi inoculada com os diferentes cultivares de trigo que foram cultivados, o que demonstra a importância da pesquisa para a validação de tecnologias aplicadas ao campo, especialmente quando se trata de biotecnologias que envolvam a interação solo-planta-microrganismo-atmosfera.

Figura 5 - Espigueta terminal de plantas de trigo cultivar TBIO Sossego aos 65 dias após a semeadura no tratamento controle sem inoculação (A) e com inoculação de *Trichoderma harzianum* cepa TF13 (B).



Fonte: Ricardo Bemfica Steffen e Gerusa Pauli Kist Steffen

Fungos do gênero *Trichoderma* estão entre os microrganismos bioagentes mais populares utilizados na agricultura. Além de atuarem no controle biológico de diversos fungos fitopatogênicos causadores de doenças, estes microrganismos também vêm sendo amplamente utilizados como promotores de crescimento vegetal (HERMOSA *et al.*, 2012). Os efeitos de promoção de crescimento em plantas são atribuídos a uma série de fatores, dentre eles a capacidade de *Trichoderma* sp. em produzir fito-hormônios como a auxina e a giberelina (AKLADIOUS; ABBAS, 2012; LÓPEZ-VALEN-ZUELA *et al.*, 2022). De acordo com Akladios e Abbas (2012), a espécie *T. harzianum* apresenta a capacidade de produzir giberelina e auxina, contribuindo para o crescimento vegetal. Um estudo de três anos realizado por Sharma *et al.* (2012) avaliou a capacidade de promoção do crescimento de *T. harzianum* (cepa Th3) no cultivo de trigo em duas diferentes zonas agroclimáticas na Índia. Os autores observaram incrementos de 29 e 36% na produtividade de trigo nas diferentes áreas agrícolas avaliadas, comprovando os benefícios da inoculação de *T. harzianum* (cepa Th3) na cultura do trigo.

Analisando as nove cultivares de trigo que responderam de forma positiva à inoculação de ambas as espécies do gênero *Trichoderma* nos dois anos agrícolas, observou-se variação entre os incrementos na produtividade proporcionados pelas diferentes espécies de microrganismos (Tabela 4).

Finalmente, os resultados deste trabalho evidenciam a necessidade de serem consideradas as especificidades das cultivares dentro de uma mesma espécie vegetal, visando o alcance da resposta produtiva esperada em relação ao uso de bioinsumos. Isto porque embora pertencentes ao mesmo gênero fúngico, as diferentes espécies de *Trichoderma* apresentam metabolismo, habilidades e comportamentos distintos, que resultam em diferentes níveis e formas de interação com as plantas e a complexa diversidade de microrganismos existentes no sistema solo. Por exemplo, a inoculação de *T. harzianum* (cepa TF13) no cultivar de trigo Fortaleza proporcionou incremento produtivo de 0,78% no ano de 2020, ao passo que a inoculação da espécie *T. asperelloides* (cepa TF04) no mesmo cultivar proporcionou aumento de 23,65% na produtividade de grãos no ano seguinte (Tabela 4).

Tabela 4 - Médias de produtividade das cultivares de trigo que responderam de forma positiva à inoculação de *Trichoderma harzianum* (cepa TF13) e *Trichoderma asperelloides* (cepa TF04).

Cultivares	Produtividade (Kg/ha)			Produtividade (Kg/ha)		
	Sem inoculação	Com <i>T. harzianum</i>	I (%)**	Sem inoculação	Com <i>T. asperelloides</i>	I (%)**
Inova	2276 B*	2619 A	15,07	2425 B	2700 A	11,34
LG Fortaleza	2557 A	2577 A	0,78	2495 B	3085 A	23,65
LG Oro	2566 A	2732 A	6,47	4325 A	4515 A	4,39
FPS Certero	2580 B	3004 A	16,43	3180 B	4045 A	27,20
LG Cromo	2581 B	2889 A	11,93	3040 A	3195 A	5,10
BRS Belajoia	2619 B	2812 A	7,37	4670 A	4860 A	4,07
BRS 327	2649 A	2736 A	3,28	3950 B	4370 A	10,63
BRS Reponte	2694 A	2737 A	1,59	3185 B	3440 A	8,01
Tbio Sinuelo	2898 A	3074 A	6,07	5115 A	5315 A	3,91

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Porcentagem de incremento médio de produtividade do tratamento com inoculação do microrganismo sobre o tratamento sem inoculação.

Fonte: Construção dos autores

Este estudo comprovou o potencial dos isolados pertencentes às espécies *T. asperelloides* (cepa TF04) e *T. harzianum* (cepa TF13) em incrementar de forma expressiva o potencial produtivo de alguns cultivares de trigo, especialmente no ano agrícola que apresentou condições menos favoráveis à cultura. Mais do que isso, este trabalho ressaltou a importância da validação do uso de bioinsumos em nível de espécie de microrganismo e cultivares de trigo a serem cultivados.

CONCLUSÃO

Os 30 cultivares de trigo avaliados apresentaram respostas produtivas distintas à inoculação das duas espécies de fungos do gênero *Trichoderma*, evidenciando a especificidade do agente biológico ao cultivar a ser implantado no campo. Dos 30 cultivares de trigo, nove apresentaram respostas

positivas à inoculação de ambas as espécies do gênero *Trichoderma* testadas, com incrementos que atingiram 19,95% para *Trichoderma harzianum* (cepa TF13) e 27,20% para *Trichoderma asperelloides* (cepa TF04). Os incrementos em produtividade proporcionados pelos microrganismos inoculados demonstraram o potencial do uso destes agentes microbianos como estratégias de manejo para elevar a produtividade da cultura do trigo no estado do Rio Grande do Sul, especialmente em anos agrícolas com condições climáticas não ideais para o cultivo.

Os cultivares de trigo que apresentaram incremento produtivo em condições de campo com a inoculação de *T. harzianum* (cepa TF13) e *T. asperelloides* (cepa TF04) foram: FPS Certeiro, LG Fortaleza, LG Cromo, LG Oro, Inova, BRS 327, BRS Belajoia, BRS Reponte e TBIO Sinuelo. Para estes cultivares, o uso de bioinsumos à base de *T. harzianum* e *T. asperelloides* apresenta potencial para elevar a produtividade da cultura do trigo.

REFERÊNCIAS

- ABDENACEUR, R. *et al.* Effective biofertilizer *Trichoderma* spp. isolates with enzymatic activity and metabolites enhancing plant growth. **International Microbiology**, v. 25, n. 4, p. 817-829, 2022.
- AKLADIOUS, S. A.; ABBAS, S. M. Application of *Trichoderma harzianum* T22 as a biofertilizer supporting maize growth. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 8672-8683, 2012.
- ARAÚJO, T. B. de *et al.* Growth promotion in maize inoculated with *Trichoderma harzianum*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 22, e1269, 2023.
- BEN AMIRA, M. *et al.* Beneficial effect of *Trichoderma harzianum* strain Ths97 in biocontrolling *Fusarium solani* causal agent of root rot disease in olive trees. **Biological Control**, v. 110, p. 70-78, 2017.
- BHANDARI, R. *et al.* Climate resilient breeding for high yields and stable wheat (*Triticum aestivum* L.) lines under irrigated and abiotic stress environments. **Plant Stress**, v. 11, p. 100352, 2024.
- CARRERO-CARRÓN, I. *et al.* *Trichoderma asperellum* is effective for biocontrol of *Verticillium* wilt in olive caused by the defoliating pathotype of *Verticillium dahliae*. **Crop Protection**, v. 88, p. 45-52, 2016.
- CASTRO, R. L. *et al.* Ensaio estadual de cultivares de trigo - safras 2019 e 2020. In: **Atas e Resumos da XIV Reunião da Comissão Brasileira de Trigo e Triticale**. Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária: Castro, PR, 2021. p. 389-393.

CASTRO, R. L. *et al.* Ensaio estadual de cultivares de trigo - safra 2021. In: CUNHA, G. R.; CAIERÃO, E. (Orgs.). **Atas e Resumos 2022 da XV Comissão de Pesquisa de Trigo e Triticale**. Embrapa Trigo: Passo Fundo, RS, 2023. p. 220-224.

CHAGAS JUNIOR *et al.* *Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckf & Nirenberg) as growth promoter in *Enterolobium contortisiliquum* (Vell) Morong. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 2, p. 1-17, e64187, 2024.

CHEN, D. *et al.* Combined use of two *Trichoderma* strains to promote growth of Pakchoi (*Brassica chinensis* L.). **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 726, 2021.

CUNHA, G. R. da *et al.* Variabilidade temporal e espacial do quociente fototermal no Rio Grande do Sul e suas implicações para a expressão do potencial de rendimento de grãos de trigo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 91-101, 2005.

DAUNORAS, J. *et al.* R. Role of soil microbiota enzymes in soil health and activity changes depending on climate change and the type of soil ecosystem. **Biology**, v. 13, n. 2, p. 85, 2024.

DUBYTSKYI, O. *et al.* Regularities in the development of soil biological activity and winter wheat productivity under ecologised fertiliser systems. **Scientific Horizons**, v. 25, n. 10, p. 31-42, 2022.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPACNPS, 1997, 212p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GRIEBELER, A. M. *et al.* Type of container and *Trichoderma* spp. inoculation enhance the performance of tree species in enrichment planting. **Ecological engineering**, v. 169, p. 106317, 2021.

GRIEBELER, A. M. *et al.* Strategies for optimizing the enrichment direct sowing: inoculation with *Trichoderma* spp. and use of a hydrogel. **Cerne**, v. 29, p. 103212, 2023.

HARMAN, G. E. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. **Phytopathology**, v. 96, n. 2, p. 190-194, 2006.

HASAN, M. *et al.* New endophytic strains of *Trichoderma* promote growth and reduce clubroot severity of rapeseed (*Brassica napus*). **Plos One**, v. 18, n. 10, p. 0287899, 2023.

HERMOSA, R *et al.* Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 17-25, 2012.

IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemático-da-produção-agricola.html?=&t=resultados>. Acesso em: 02 set. 2024.

LÓPEZ-VALENZUELA, B. *et al.* Microorganismos del género *Trichoderma* spp. productores de fitohormonas y antagonistas de fitopatógenos. **Bioagro**, v. 34, n. 2, p. 163-172, 2022.

MACHADO, D. F. M. *et al.* *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MARRA, R. *et al.* The application of *Trichoderma* strains or metabolites alters the olive leaf metabolome and the expression of defense-related genes. **Journal of Fungi**, v. 6, n. 4, p. 369, 2020.

MENESES, F. J. R. *et al.* Inoculation of *Trichoderma asperelloides* ameliorates aluminum stress-induced damages by improving growth, photosynthetic pigments and organic solutes in maize. **3 Biotech**, v. 12, n. 10, p. 246, 2022.

PAUL, S.; RAKSHIT, A. Effect of seed bio-priming with *Trichoderma viride* strain BHU-2953 for enhancing soil phosphorus solubilization and uptake in soybean (*Glycine max*). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 2, p. 1041-1052, 2021.

PECCATTI, A. *et al.* Effect of *Trichoderma* spp. on the propagation of *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 3, p. 435, 2019.

REBOUH, N. Y. *et al.* Contribution of eco-friendly agricultural practices in improving and stabilizing wheat crop yield: A review. **Agronomy**, v. 13, n. 9, p. 2400, 2023.

SENGER, M. *et al.* 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, n. 3, p. 255-263, 2023.

SHARMA, P. *et al.* Field demonstration of *Trichoderma harzianum* as a plant growth promoter in wheat (*Triticum aestivum* L). **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 8, p. 65, 2012.

SHORESH, M. *et al.* Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.

STEFFEN, G. P. K. *et al.* Incremento da produtividade de milho pela inoculação de *Trichoderma harzianum*. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4455-4468, 2021a.

STEFFEN, G. P. K. *et al.* Increasing productivity of cabbage by two species of *Trichoderma* fungi. **International Journal of Environmental Studies**, v. 78, n. 5, p. 797-803, 2021b.

STEFFEN, G. P. K. *et al.* Incremento na produtividade de mandioca pelo uso de fungos do gênero *Trichoderma*. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2022. 26 p. (Boletim Técnico: pesquisa e desenvolvimento, 7).

TIAN, B. *et al.* Climate warming alters the soil microbial association network and role of keystone taxa in determining wheat quality in the field. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 326, p. 107817, 2022.

VELASCO, P. *et al.* *Trichoderma hamatum* increases productivity, glucosinolate content and antioxidant potential of different leafy brassica vegetables. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2449, 2021.

WAHDAN, S. F. M. *et al.* Future climate conditions accelerate wheat straw decomposition alongside altered microbial community composition, assembly patterns, and interaction networks. **The ISME Journal**, v. 17, n. 2, p. 238-251, 2023.

WU, J. *et al.* Impacts of climate change on winter wheat net primary production: the regulatory role of crop management. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 3, p. 1420-1430, 2024.

YANAGI, M. Climate change impacts on wheat production: Reviewing challenges and adaptation strategies. **Advances in Resources Research**, v. 4, n. 1, p. 89-107, 2024.

ZILLES, F. K. da S. *et al.* *Trichoderma endophyticum* to promote the growth and productivity of soybean. **Ciência Rural**, v. 55, n. 6, p. e20240171, 2025.