



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



ANA LAURA COSTA SANTOS

**POTENCIAL FISIOLÓGICO E SANITÁRIO DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS
COM *Trichoderma* spp. NO CONTROLE DE *Sclerotinia sclerotiorum***

UBERLÂNDIA-MG

2026

ANA LAURA COSTA SANTOS

POTENCIAL FISIOLÓGICO E SANITÁRIO DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS
COM *Trichoderma* spp. NO CONTROLE DE *Sclerotinia sclerotiorum*

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial do Programa de Pós-graduação em Agronomia para obtenção do título de mestre.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Dr. Prof. Hugo César R. Moreira Catão

Coorientador: Dr. Prof. Silvino Intra Moreira

Uberlândia

2026

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S237 2026	Santos, Ana Laura Costa, 2001- Potencial fisiológico e sanitário de sementes de soja tratadas com <i>Trichoderma</i> spp. no controle de <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> [recurso eletrônico] / Ana Laura Costa Santos. - 2026. Orientador: Hugo César Rodrigues Moreira Catão. Coorientador: Silvino Intra Moreira. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia. Modo de acesso: Internet. DOI http://doi.org/10.14393/ufu.di.2026.88 Inclui bibliografia. 1. Agronomia. I. Catão, Hugo César Rodrigues Moreira, 1983-, (Orient.). II. Moreira, Silvino Intra, 1982-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agronomia. IV. Título. CDU: 631
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 002/2026, PPGAGRO				
Data:	Dezenove de fevereiro de dois mil e vinte e seis	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	12:20
Matrícula do Discente:	12422AGR003				
Nome do Discente:	Ana Laura Costa Santos				
Título do Trabalho:	Potencial fisiológico e sanitário de sementes de soja tratadas com <i>Trichoderma</i> spp. no controle de <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Produção Vegetal em Áreas de Cerrado				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Nilvanira Donizete Tebaldi - UFU; Daniel Teixeira Pinheiro - UNITRI; Carla Lima Corrêa - CLC Agro Capacitação; Hugo César Rodrigues Moreira Catão - UFU - orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Hugo César Rodrigues Moreira Catão, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Essa dissertação possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? () SIM NÃO (x)

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Hugo Cesar Rodrigues Moreira Catão, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/02/2026, às 12:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilvanira Donizete Tebaldi, Professor(a) do Magistério Superior**, em 19/02/2026, às 12:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Teixeira Pinheiro, Usuário Externo**, em 19/02/2026, às 14:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carla Lima Corrêa, Usuário Externo**, em 20/02/2026, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7065586** e o código CRC **86A3227A**.

ANA LAURA COSTA SANTOS

POTENCIAL FISIOLÓGICO E SANITÁRIO DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS
COM *Trichoderma* spp. NO CONTROLE DE *Sclerotinia sclerotiorum*

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial do Programa de Pós-graduação em Agronomia para obtenção do título de mestre.

Área de concentração: Produção Vegetal

Uberlândia, 19/02/2026

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Nilvanira Donizete Tebaldi - UFU

Prof. Dr. Daniel Teixeira Pinheiro - UNITRI

Dra. Carla Lima Corrêa – CLCAGRO CAPACITAÇÃO

UBERLÂNDIA – MG

2026

Aos meus pais, por serem minha base e meu exemplo. Sem o seu apoio incondicional, nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus familiares: meus pais, Luiza Barbosa e Edmilson Borges; meus irmãos Danilo Costa e Rodrigo Costa; minha cunhada, Gabriela Moreira; e minhas sobrinhas Maria Cecília Borges e Maria Luiza Borges, por todo o apoio durante minha trajetória acadêmica, por representarem meu porto seguro e, principalmente, pela compreensão e carinho.

Ao meu professor e orientador, Hugo César Rodrigues Moreira Catão, sou imensamente grata por todo o auxílio ao longo dessa jornada, mas, principalmente, pelo incentivo constante a continuar, pela paciência ao ensinar e pela confiança depositada em mim.

Ao meu coorientador, Silvino Intra Moreira, agradeço pelas contribuições, pela disponibilidade, e pelos ensinamentos. Suas orientações e sugestões foram fundamentais para a condução deste trabalho.

Aos meus amigos Brenda Santos, Gabriela Melazzo, Ricardo Domingues, Airson Ludovino e Maurício Alves, minha eterna gratidão por serem minha rede de apoio durante a condução deste trabalho. Obrigada pelo companheirismo e compreensão, pela presença constante e pelas risadas que tornaram os dias difíceis mais leves.

Às minhas amigas Laura Borges, Maria Angélica Alves e Júlia Aguiar, agradeço por estarem ao meu lado desde o início e, mesmo à distância, compartilharem comigo a alegria de cada conquista.

Ao Núcleo de Estudos e Pesquisa em Sementes (NEPSem), agradeço o apoio ao longo desse trabalho, especialmente às integrantes Francielly Almeida, Rayssa Rodrigues e Gabriela Junqueira, que foram fundamentais nesse processo.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia e à CAPES pelo apoio institucional e financeiro.

De modo geral, agradeço a todos aqui citados, especialmente por acreditarem em mim nos momentos que nem eu mesma consegui acreditar.

“Quem tem um porquê enfrenta qualquer como.”

— Friedrich Nietzsche

RESUMO

A qualidade sanitária e fisiológica de sementes de soja é comprometida pela associação com *Sclerotinia sclerotiorum*, afetando o estabelecimento inicial da cultura e disseminando a doença no campo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* sobre a qualidade das sementes, bem como a eficiência do controle biológico com *Trichoderma* spp. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x5, sendo cinco potenciais de inóculo (0, 6, 12, 24, 48 horas) e cinco métodos de controle (três isolados de *Trichoderma*, fungicida químico e tratamento com água destilada). A qualidade sanitária foi avaliada pela incidência fúngica, e a qualidade fisiológica determinada pelos testes de germinação, protrusão radicular, emergência e comprimento de plântulas, complementados pelas análises de índices de velocidade, uniformidade, crescimento e vigor. Observou-se que com o aumento do potencial de inóculo houve maior incidência do patógeno e redução progressiva da qualidade das sementes. Diante de maiores pressões do inóculo o fungicida químico foi mais eficiente na manutenção do desempenho fisiológico. Os agentes de controle biológico apresentaram efeitos variáveis para cada isolado, mas de modo geral foram capazes de atenuar os efeitos do patógeno diante de potenciais intermediários de inóculo. Conclui-se o aumento do potencial de inóculo de *S. sclerotiorum* eleva a colonização e a incidência do patógeno nas sementes. A qualidade fisiológica das sementes é progressivamente reduzida com o aumento do potencial de inóculo, afetando germinação, emergência e vigor. O fungicida apresentou maior eficiência no controle, enquanto o controle biológico com *Trichoderma* spp. é influenciado pela pressão de inóculo.

Palavras-chave: Mofo branco; controle biológico; tratamento de sementes.

ABSTRACT

The sanitary and physiological quality of soybean seeds is compromised by their association with *Sclerotinia sclerotiorum*, affecting the initial establishment of the crop and contributing to disease dissemination in the field. The objective of this study was to evaluate the effect of different inoculum potentials of *S. sclerotiorum* on seed quality, as well as the efficiency of biological control using *Trichoderma*. The experiment was conducted in a completely randomized design, arranged in a 5×5 factorial scheme, consisting of five inoculum potentials (0, 6, 12, 24, and 48 hours) and five control methods (three *Trichoderma* isolates, a chemical fungicide, and water). Sanitary quality was assessed by fungal incidence, and physiological quality was determined through germination, radicle protrusion, emergence, and seedling length tests, complemented by analyses of speed, uniformity, growth, and vigor indices. It was observed that increasing inoculum potential resulted in higher pathogen incidence and a progressive reduction in seed quality. Under higher inoculum pressure, the chemical fungicide was more efficient in maintaining physiological performance. The biological control agents showed variable effects depending on the isolate; however, overall, they were able to mitigate the effects of the pathogen at intermediate inoculum potential. It is concluded that increasing the inoculum potential of *S. sclerotiorum* increases pathogen colonization and incidence in seeds. The physiological quality of seeds is progressively reduced as inoculum potential increases, affecting germination, emergence, and vigor. The fungicide showed greater efficiency in control, whereas biological control with *Trichoderma* spp. is influenced by inoculum pressure.

Keywords: White mold; biological control; seed treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Incidência de <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	21
Figura 2 – Incidência de <i>Trichoderma</i> spp.	22
Figura 3 – Germinação	23
Figura 4 – Índice de Velocidade de Germinação (IVG)	25
Figura 5 – Protrusão Radicular	26
Figura 6 – Índice de Velocidade de Protrusão (IVP)	28
Figura 7 – Emergência de Plântulas.....	29
Figura 8 – Índice de Velocidade de Emergência (IVE)	31
Figura 9 – Representação Visual da Emergência	32
Figura 10 – Comprimento de hipocótilo e radícula.....	33
Figura 11 – Índice de Uniformidade	35
Figura 12 – Índice de Crescimento	36
Figura 13 – Índice de Vigor	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1	Multiplicação do isolado de <i>S. sclerotiorum</i> e inoculação das sementes	14
2.2	Multiplicação de <i>Trichoderma</i> spp.	15
2.3	Tratamento de sementes.....	15
2.4	Avaliação da qualidade sanitária	16
2.5	Avaliação da qualidade fisiológica	16
2.5.1	<i>Germinação</i>	16
2.5.2	<i>Índice de Velocidade de Germinação (IVG)</i>	17
2.5.3	<i>Protrusão de radícula</i>	17
2.5.4	<i>Emergência</i>	17
2.5.5	<i>Índice de Velocidade de Emergência (IVE)</i>	18
2.5.6	<i>Comprimento de plântulas</i>	18
2.6	Análise estatística.....	19
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4	CONCLUSÃO.....	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura agrícola de maior expansão no Brasil nas últimas décadas, destacando-se como a principal commodity agrícola do país e ocupando posição central no cenário econômico nacional. Na safra 2024/25, a cultura alcançou produção aproximada de 171 milhões de toneladas, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Companhia Nacional de Abastecimento, 2025).

Diante de expressiva importância para o agronegócio brasileiro, o sucesso do sistema produtivo está diretamente relacionado à utilização de sementes de soja de elevada qualidade física, fisiológica, genética e sanitária, aspectos esses que são determinantes para o estabelecimento inicial da lavoura e para a obtenção de altos níveis de produtividade (Krzyzanowski *et al.*, 2018; Dameto *et al.*, 2023).

A qualidade sanitária de sementes constitui um fator-chave para o sucesso produtivo, uma vez que estas podem atuar como fontes de inóculo primário de doenças, favorecendo a introdução e disseminação de patógenos em áreas de cultivo (Nobrega; Nascimento 2020). Além disso, a qualidade sanitária da semente desempenha influência direta na qualidade fisiológica, pois a presença de patógenos pode comprometer o vigor e reduzir a germinação, refletindo em falhas no estande inicial de plantas e no rendimento total da cultura (Rossetti *et al.*, 2022).

Dentre as doenças de relevância para a cultura da soja, destaca-se o mofo branco, causado pelo agente patogênico *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, um fungo de solo, necrotrófico e polífago que, quando presente e sob condições ideais para o seu desenvolvimento, limita severamente a produtividade (Willbur *et al.*, 2019). Além dos danos expressivos em campo, esse fungo pode associar-se às sementes de soja, por meio de micélio dormente ou pela presença de escleródios, promovendo a disseminação do patógeno a longas distâncias e a introdução do patógeno em novas áreas de cultivo (França *et al.*, 2021; Zancan *et al.*, 2015).

Além de atuar como um veículo de disseminação, a semente tem sua qualidade fisiológica diretamente afetada pela presença de *Sclerotinia sclerotiorum*, uma vez que o fungo coloniza o tegumento e os cotilédones, utilizando os tecidos de reserva como fonte de nutrientes e, conseqüentemente, impacta negativamente a qualidade fisiológica com a redução do vigor e germinação (Mueller *et al.*, 1999; França *et al.*, 2021).

Assim, conhecer o grau de associação do patógeno com a semente permite estimar o modelo epidemiológico de desenvolvimento da doença, além de contribuir para aprimorar os

métodos de detecção e definir estratégias de controle (França *et al.*, 2021). Nesse sentido, a interação de *S. sclerotiorum* com as sementes de soja pode ser estudada por meio do uso do potencial de inóculo, conceito validado por França *et al.* (2021) para representar o tempo de exposição das sementes ao patógeno como uma estimativa da intensidade de colonização.

Em decorrência de suas características epidemiológicas, a *Sclerotinia sclerotiorum* é classificada como um organismo nocivo, não quarentenário, regulamentado pelos programas de certificação de sementes para as culturas da soja, feijão, algodão e girassol (Brasil, 2009). Desse modo, o controle eficiente do patógeno é imprescindível, demandando a adoção de estratégias integradas de manejo, como o uso de produtos químicos e biológicos, haja vista que não há cultivares comerciais com resistência genética (Kandel *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2025).

De acordo com o Comitê de Ação à Resistência a Fungicidas (2021) o uso recorrente de fungicidas químicos com um único ou poucos modos de ação requer cautela pois podem favorecer a seleção de patógenos resistentes. Nesse sentido, a integração de agentes biológicos no manejo torna-se uma alternativa viável no manejo da doença. Fungos do gênero *Trichoderma* são amplamente investigados no controle do mofo branco, apresentando eficiência no tratamento de sementes (Macena *et al.*, 2020). Estudos demonstram a supressão de *S. sclerotiorum* em sementes de culturas de importância agrícola, como soja, algodão e feijão, evidenciando o potencial de controle desse agente (Haddad *et al.*, 2017; Juliatti *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2022; Abdelrhim *et al.*, 2024)

As espécies de *Trichoderma* atuam por meio de múltiplos mecanismos de ação, o que justifica sua eficiência na supressão de fungos fitopatogênicos. Além disso, são capazes de colonizar estruturas fúngicas como escleródios, esporos e clamidósporos, que podem não ser alcançadas por fungicidas químicos (Macena *et al.*, 2020, Silva *et al.*, 2025). Dentre os principais mecanismos, destacam-se o micoparasitismo, a antibiose e a competição por espaço e nutrientes, assim como podem promover o crescimento vegetal e a indução de resistência a doenças em plantas (Silva *et al.*, 2025).

Na literatura, estudos demonstram que a associação de *Sclerotinia sclerotiorum* às sementes de soja compromete sua qualidade fisiológica, reduzindo a germinação e o vigor (França *et al.*, 2021; Guimarães *et al.*, 2017; Botelho *et al.*, 2015). Paralelamente, *Trichoderma* spp. têm sido amplamente estudado como um agente de biocontrole no manejo do mofo branco, diante de sua capacidade antagonista (Haddad *et al.*, 2017; Macena *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2025). Entretanto, ainda são escassos estudos que avaliem a eficiência do controle biológico com *Trichoderma* spp. em sementes de soja submetidas a diferentes intensidades de colonização pelo patógeno, representadas por distintos potenciais de inóculo.

Nesse contexto, diante da relevância da qualidade sanitária e fisiológica das sementes de soja e da necessidade de compreender a influência do potencial de inóculo do patógeno na eficiência do biocontrole, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes potenciais de inóculo de *Sclerotinia sclerotiorum* na qualidade sanitária e fisiológica de sementes de soja tratadas com *Trichoderma* spp.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes (LASEM – UFU) e Laboratório de Micologia e Proteção de Plantas (LAMIP – UFU) do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Umuarama, na cidade de Uberlândia-MG. A cultivar de soja selecionada foi a NEO790 IPRO, cujas sementes foram previamente analisadas para caracterização inicial da qualidade fisiológica, por meio de testes de germinação e emergência, assegurando o uso de sementes com elevada qualidade na condução da pesquisa.

O isolado virulento de *S. sclerotiorum* utilizado é pertencente a coleção fúngica do LAMIP-UFU. Já os isolados de *Trichoderma* utilizados no tratamento de sementes foram: *Trichoderma harzianum* IBLF 006, isolado a partir do produto comercial Ecotrich WP®; *Trichoderma asperelloides* ESALQ 1306, isolado a partir do produto comercial Trichodermil FS®; e um isolado de *Trichoderma* sp. obtidos da coleção de isolados fúngicos do LAMIP-UFU.

2.1 Multiplicação do isolado de *S. sclerotiorum* e inoculação das sementes

O isolado de *S. sclerotiorum* armazenado foi inicialmente multiplicado em meio de cultura Batata Dextrose Ágar (BDA - KASVI®). As placas foram vedadas com filme plástico e acondicionadas em caixas organizadoras transparentes, sendo posteriormente incubadas em câmara de crescimento tipo BOD à temperatura de 20 °C, sob fotoperíodo de 12 horas, onde permaneceram durante sete dias para crescimento micelial.

Posteriormente, o fungo foi novamente multiplicado em meio BDA com adição de 70 g/L de manitol (potencial hídrico de -1,0 MPa) (França et al., 2021). Esse meio foi vertido em placas de Petri de 15 cm de diâmetro, nas quais foram adicionados quatro discos de micélio de *S. sclerotiorum* por placa. As placas foram incubadas em BOD à 20 °C, sob fotoperíodo de 12 horas por 7 dias.

As sementes de soja foram previamente desinfestadas superficialmente por imersão em solução de 0,5% de hipoclorito de sódio por 30 segundos, seguidas de enxágue em água destilada esterilizada e secagem em ambiente laboratorial por 48 horas. Após o crescimento micelial no meio BDA + manitol, foram adicionadas 70 sementes por placa, totalizando 900 sementes por tratamento, onde permaneceram pelos períodos de 0, 6, 12, 24 e 48 horas,

correspondentes aos diferentes aos potenciais de inóculo, sendo o potencial P0 representado pela ausência de contato das sementes com o patógeno.

As sementes submetidas aos diferentes potenciais de inóculo foram incubadas em câmara BOD regulada à 20 °C, sob fotoperíodo de 12 horas. Decorrido cada tempo de inoculação, as sementes foram cuidadosamente retiradas do meio, permanecendo em ambiente laboratorial para secagem por mais 48 horas. Após o período de secagem, procedeu-se o tratamento das sementes.

2.2 Multiplicação de *Trichoderma* spp.

Para os isolados de *Trichoderma* provenientes de produto comercial, realizou-se inicialmente a obtenção de culturas puras, objetivando a eliminação de adjuvantes presentes nas formulações e obtenção exclusivamente dos esporos fúngicos. Portanto, alíquotas dos produtos foram inoculadas em placas de Petri contendo meio BDA, as quais foram incubadas durante 7 dias em câmara de crescimento à 25 °C sob fotoperíodo de 12 horas, para o desenvolvimento micelial e esporulação.

Após esse período, os esporos de cada isolado foram coletados e repicados para novas placas contendo meio BDA, que permaneceram incubadas por mais sete dias, obtendo culturas puras com produção de esporos suficiente para realizar posteriormente o tratamento das sementes. Concomitantemente, os esporos do isolado *Trichoderma* sp. provenientes da coleção do LAMIP-UFU também foram multiplicados sob as mesmas condições.

2.3 Tratamento de sementes

Para o tratamento das sementes, foram preparadas suspensões de esporos para cada isolado de *Trichoderma*. Para isso, adicionou-se 5 mL de solução aquosa de água destilada esterilizada contendo Tween 20 (1 gota/L) às placas de Petri com crescimento fúngico e esporulação, seguida de raspagem superficial com lâminas de microscopia estéreis, para a liberação dos esporos na solução.

A suspensão obtida foi filtrada em gaze estéril para a remoção de fragmentos miceliais e, posteriormente, a concentração de esporos de cada isolado foi determinada por meio da contagem de esporos com câmara de Neubauer. Após a quantificação, todas as soluções foram ajustadas para $1,3 \times 10^8$ conídios mL⁻¹.

As aplicações das suspensões nas sementes foram realizadas em sacos plásticos transparentes. Utilizou-se a dose de 2mL da suspensão de *Trichoderma* spp. para cada 100 gramas de sementes.

Realizou-se também o tratamento das sementes inoculadas com o fungicida químico Maxim Advanced®, composto pelos ingredientes ativos Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil, aplicando a dose recomendada pelo fabricante de 100 ml por 100 kg de sementes. Adicionalmente, as sementes de cada potencial de inóculo receberam tratamento apenas com água destilada. Após todas as aplicações, as sementes passaram por secagem em ambiente laboratorial por 48 horas.

2.4 Avaliação da qualidade sanitária

A incidência de fungos foi avaliada pelo teste de papel filtro (*Blotter Test*), de acordo com metodologia estabelecida no Manual de Análise Sanitária de Sementes (Brasil, 2009). Foram utilizadas oito repetições de 25 sementes, dispostas sobre duas folhas de papel mata borrão umedecido com água destilada em volume de 2,5 vezes o peso do papel seco, acondicionados em caixas do tipo gerbox.

As caixas foram incubadas em câmara BOD à temperatura de 20 ± 2 °C, por 24 horas, com fotoperíodo de 12 h luz/ 12 h escuro. Posteriormente foram transferidas para o congelador à -20 ± 2 °C por 24 horas e em seguida incubadas novamente à 20 ± 2 °C por mais 5 dias. Para a detecção de *Sclerotinia sclerotiorum* o tempo de incubação foi prolongado por mais 7 dias com temperatura de 15 °C (Brasil, 2009).

A identificação dos fungos foi realizada com o auxílio de um microscópio estereoscópico e microscópio óptico comum, quantificando-se a incidência de *Sclerotinia sclerotiorum* e *Trichoderma* spp. em porcentagem.

2.5 Avaliação da qualidade fisiológica

2.5.1 Germinação

O teste de germinação foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, distribuídas uniformemente entre duas folhas de papel para germinação, previamente umedecidas com volume de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco. As folhas foram dispostas no formato de rolos, que foram acondicionados em caixas

organizadoras transparentes e incubadas em câmara de germinação tipo BOD, à temperatura de 25 °C, sob fotoperíodo de 12 horas. A avaliação de plântulas normais foi realizada no oitavo dia e os resultados foram expressos em porcentagem, conforme as Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2025).

2.5.2 Índice de Velocidade de Germinação (IVG)

Foi determinado simultaneamente ao teste de germinação, por meio de contagens diárias do número de plântulas normais. O IVG corresponde a somatória do número de plântulas normais obtidas a cada dia, dividido pelo respectivo número de dias transcorridos desde a semeadura, sendo os resultados expressos em sementes germinadas por dia, de acordo com fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Gn}{Nn}$$

em que IVG corresponde ao Índice de Velocidade de Germinação, G ao número de plântulas normais contabilizadas por dia e N ao tempo de dias decorridos.

2.5.3 Protrusão de radícula

Avaliada simultaneamente ao teste de germinação, a partir de contabilizações diárias do número de sementes que apresentavam protrusão radicular, adotando como critério o comprimento mínimo de 5 milímetros de radícula. Os resultados foram expressos em porcentagem total de protrusão, além do cálculo do índice de velocidade de protrusão radicular, de acordo com fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVP = \frac{P1}{N1} + \frac{P2}{N2} + \dots + \frac{Pn}{Nn}$$

em que IVP corresponde a Índice de Velocidade Protrusão Radicular, P ao número de protrusões por dia e N ao tempo decorrido em dias.

2.5.4 Emergência

O teste de emergência foi conduzido em bandejas plásticas contendo substrato areia, previamente umedecido à 60% da capacidade de campo no momento de semeadura e, posteriormente, sempre que necessário para manutenção da umidade adequada. Foram

utilizadas quatro repetições de 50 sementes por tratamento, semeadas nas bandejas e mantidas em casa de vegetação à temperatura ambiente. A contagem da emergência de plântulas foi realizada no oitavo dia após semeadura e os resultados expressos em porcentagem (Krzyzanowski et al., 2020).

2.5.5 *Índice de Velocidade de Emergência (IVE)*

O IVE foi conduzido conjuntamente com o teste de emergência por meio de avaliação diária de plântulas emergidas, adotando como critério de emergência o cotilédone acima do solo. O índice foi calculado a partir da fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Nn}$$

em que IVE corresponde a Índice de Velocidade de Emergência, E ao número de plântulas emergidas por dia e N ao tempo decorrido em dias.

2.5.6 *Comprimento de plântulas*

Para condução do teste de comprimento de plântulas foram utilizadas quatro repetições de 20 sementes, dispostas uniformemente entre duas folhas de papel de germinação, umedecidos previamente com volume de água de 2,5 vezes o peso do papel seco. Os rolos de germinação foram acondicionados em câmara BOD, à 25 °C sob fotoperíodo de 12 horas por três dias. A avaliação do comprimento foi realizada no terceiro dia a partir da aquisição de imagens das plântulas, que foram posteriormente analisadas no software ImageJ® para mensurar o comprimento do hipocótilo e radícula. Os dados foram processados utilizando o pacote *SeedCalc* disponibilizado pelo *Software R* (Silva et al., 2019), obtendo os índices de crescimento, uniformidade e vigor a partir das fórmulas:

$$\text{Índice de Crescimento} = [(\bar{X} h) \times (Wh)] + [(\bar{X} r) \times (Wr)]$$

Em que $\bar{X} h$ corresponde ao comprimento médio do hipocótilo; $\bar{X} r$ ao comprimento médio da radícula; Wh e Wr correspondem aos pesos ajustáveis para hipocótilo e radícula de 10 e 90, respectivamente (Sako et al., 2001).

$$\text{Índice de Uniformidade} = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Xi - \bar{X}|}{n \times \bar{X}} \right] \times 1000 - \left[n_{dead} \times \left(\frac{50}{n_{total}} \right) \right]$$

Em que Xi corresponde ao comprimento da plântula analisada; $\bar{X}$ é o comprimento médio das plântulas do lote analisado; n é a variável do número total de plântulas avaliadas;

n_{dead} é o número de sementes mortas ou não germinadas; e n_{total} é o número total de plântulas (Christiansen, 1942; adaptado por Castan et al., 2018).

$$\text{Índice de Vigor} = (\text{Índice de Crescimento} \times Wg) + (\text{Uniformidade} \times Wu)$$

Em que Wg e Wu correspondem aos pesos ajustáveis para crescimento e uniformidade, com valor padrão de 70 e 30, respectivamente (Sako et al., 2001).

2.6 Análise estatística e delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial de 5 x 5, composto por cinco potenciais de inóculo de *Sclerotinia sclerotiorum* (P0, P6, P12, P24 e P48) e cinco métodos de controle: *Trichoderma harzianum* isolado IBLF 006 (produto comercial Ecotrich WP®); *Trichoderma asperelloides*, isolado ESALQ 1306 (produto comercial Trichodermil FS®); isolado *Trichoderma* sp. obtidos da coleção fúngica do LAMIP-UFU; Fungicida químico Maxim Advanced® (Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil); e tratamento apenas com água destilada.

A análise estatística dos dados foi realizada por meio do *Software R 3.6®* (R Core Team, 2023). Os dados foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e ao teste de homogeneidade de variâncias de O'neill-Mathews. Para os dados que atenderam às pressuposições, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e, quando verificada significância, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Adicionalmente, foram realizadas as análises de regressão em função dos diferentes potenciais de inóculo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

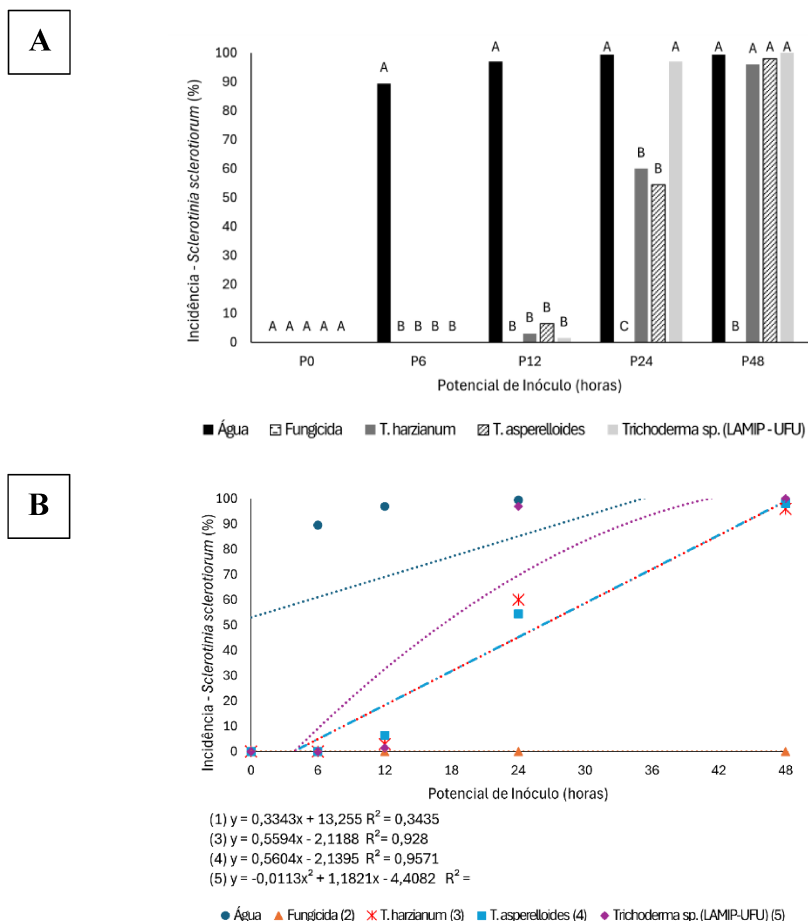
Na caracterização inicial, as sementes da cultivar NEO790 apresentaram elevada qualidade fisiológica, evidenciada pela germinação de 95% e emergência de plântulas de 96%. Esses valores estão acima do padrão mínimo de 80% de germinação exigido pela legislação para sementes de soja (Brasil, 2013), assegurando que os efeitos observados nas variáveis avaliadas são decorrentes dos tratamentos aplicados.

A incidência de *Sclerotinia sclerotiorum* (Figura 1A e 1B) aumentou com a progressão dos potenciais de inóculo, exceto para o tratamento com fungicida Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil, em que não houve incidência do patógeno. Comportamento semelhante, com o aumento na incidência de *S. sclerotiorum* em função da elevação do potencial, foi relatado por França *et al.* (2021) para sementes de soja e feijão. No potencial P0 constatou-se a ausência do patógeno, comprovando que não houve contaminação prévia das sementes ou contaminação cruzada durante a condução do experimento.

O tratamento água demonstrou que, na ausência de métodos de controle, a incidência do fungo ocorreu antecipadamente, apresentando 89% em P6 e 97% em P12. Em comparação, para os tratamentos com *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperelloides* e *Trichoderma* spp. (LAMIP-UFU), houve ausência de colonização em P6 e valores reduzidos em P12 apresentando, respectivamente, 3%, 6% e 2%, demonstrando eficiência do controle da incidência do patógeno nesses potenciais.

Contudo, diante do aumento do potencial de inóculo em P24 e P48, houve maiores porcentagens de incidência de *S. sclerotiorum* nos tratamentos com *Trichoderma*, indicando que o agente biológico não suprime totalmente o patógeno sob maiores pressões de inóculo. Esses resultados corroboram com estudos que relatam variabilidade na eficiência de *Trichoderma* spp. no controle de *S. sclerotiorum*, demonstrando dependência da interação antagonista-patógeno e limites de controle diante de maior intensidade de colonização do patógeno (Sumida *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2017).

Figura 1 - Incidência de *Sclerotinia sclerotiorum* em sementes de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo e métodos de controle. (A) Incidência nos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão da incidência em função do potencial de inóculo para cada método de controle.



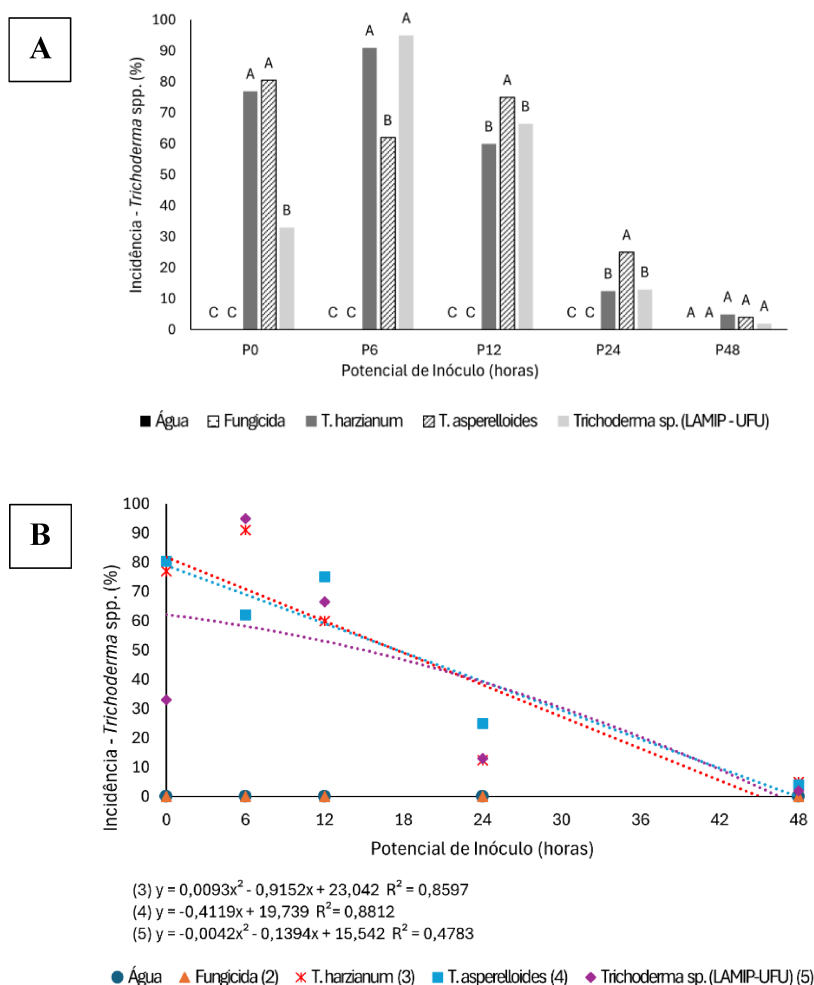
Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil. Fonte: A própria autora.

Na incidência de *Trichoderma* spp. (Figura 2A e 2B), para os tratamentos água e fungicida não houve presença do agente biológico em nenhum nível de inóculo do patógeno, demonstrando que não ocorreram contaminações cruzadas. Além disso, houve uma tendência inversa à observada para *S. sclerotiorum*, onde para os três tratamentos biológicos observou-se uma redução da incidência de *Trichoderma* spp. diante do aumento do potencial de inóculo do patógeno.

A patogenicidade de *Sclerotinia sclerotiorum* é decorrente principalmente da produção de enzimas hidrolíticas extracelulares e metabólitos como o ácido oxálico, que degradam os tecidos vegetais, facilitando o processo de colonização (Albert *et al.*, 2022). Dessa maneira,

possivelmente a redução da incidência de *Trichoderma* spp. sob maior pressão de inóculo de *Sclerotinia sclerotiorum* está associada à intensificação do processo de colonização pelo patógeno, que altera o microambiente da semente, dificultando o estabelecimento do agente de controle.

Figura 2 - Incidência de *Trichoderma* spp. em sementes de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo e métodos de controle. (A) Incidência nos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão da incidência em função do potencial de inóculo para cada método de controle.



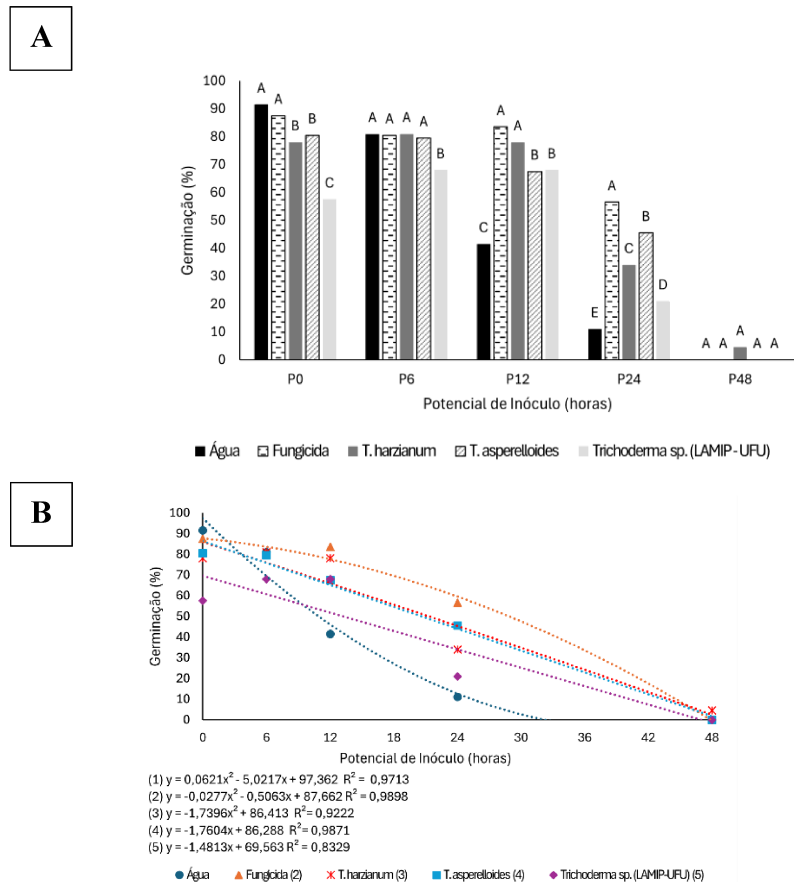
Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil. Fonte: A própria autora.

Nesse sentido, a eficiência de agentes de biocontrole como *Trichoderma* resulta da sua habilidade de colonizar a superfície das sementes e, em alguns casos, os tecidos internos, competindo com outros fungos fitopatogênicos por espaço e nutrientes e, consequentemente reduzindo a incidência dos patógenos (Mahmood; Kataoka, 2018). Assim, a colonização prévia

e intensa de *Sclerotinia sclerotiorum*, como ocorreu principalmente nos potenciais P24 e P48, limita o estabelecimento posterior do antagonista.

A germinação das sementes (Figura 3A) foi significativamente influenciada pelos potenciais de inóculo, apresentando diminuição progressiva com o aumento do tempo de exposição ao patógeno. Essa redução foi acentuada no tratamento água a partir de P12 (42%), demonstrando que a ausência de métodos de controle permitiu a expressão intensa dos prejuízos fisiológicos induzidos pelo patógeno na semente. Desse modo, sugere-se que a maior colonização de *S. sclerotiorum* ocasiona maior degradação de tecidos e interfere na mobilização das reservas das sementes. Resultados semelhantes de redução de desempenho fisiológico foram relatados para sementes de soja e feijão (França *et al.*, 2021), girassol (Zancan *et al.*, 2015) e algodão (Guimarães *et al.*, 2017).

Figura 3 – Germinação de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) Porcentagem de germinação dos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão da germinação em função do potencial de inóculo para cada método de controle.



Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil.
Fonte: A própria autora.

O fungicida Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil apresentou maior manutenção do poder germinativo das sementes, com destaque nos potenciais P12 e P24 (84% e 56%, respectivamente). Isso pode estar associado a composição de ingredientes ativos com diferentes mecanismos de ação sistêmicos, incluindo a inibição da divisão celular por interferir na formação de microtúbulos, desregulação da via de resposta osmótica do patógeno e inibição da síntese de RNA ribossomal que limita o crescimento micelial (Bazie Tagele; Gachomo, 2024; Bai *et al.* 2024, Kilani e Fillinger, 2016).

Nos tratamentos biológicos, em comparação ao tratamento água, evidencia-se a capacidade de manutenção do desempenho fisiológico nos potenciais de inóculo P6 e P12, com destaque para *T. harzianum* em P12, que se assemelhou ao tratamento químico com 78% de germinação, demonstrando que os efeitos deletérios da presença do patógeno foram amenizados. Contudo, com o aumento da pressão de *S. sclerotiorum* em P24 e P48, todos os tratamentos apresentaram perda do poder germinativo.

A diferença na performance dos tratamentos biológicos na germinação das sementes pode estar associada a variabilidades entre os isolados de *Trichoderma*, visto que a eficiência no antagonismo e a interação com o hospedeiro é dependente de características genéticas e fisiológicas de cada cepa. Essa variação foi relatada em estudos realizados por Macena *et al.* (2020) e Haddad *et al.* (2017), que observaram variações no potencial de biocontrole entre isolados dentro da mesma espécie ou de espécies diferentes.

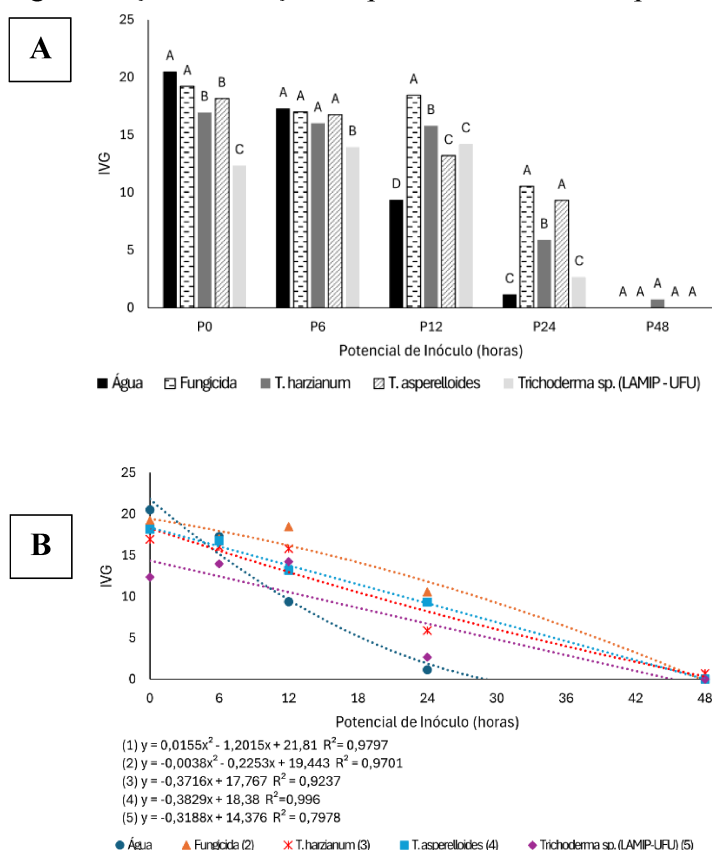
Ademais, é relevante salientar também que, no potencial P0, em que não houve inoculação com *S. sclerotiorum*, os tratamentos com *Trichoderma* apresentaram redução na germinação em relação ao tratamento água, com destaque significativo para o isolado *Trichoderma* sp. que obteve a menor média (58%) (Figura 3A). Esse comportamento sugere que, na ausência do patógeno, a interação entre a semente e esse isolado possivelmente influencia negativamente o processo germinativo.

Diversos metabólitos secundários produzidos por espécies de *Trichoderma*, além de atuarem no controle de patógenos, também podem promover o crescimento e desenvolvimento das plantas. Entretanto, esses efeitos são dependentes da dose e, em altas concentrações, podem ocasionar efeito inibitório (Yadav; Khare, 2025). Além disso, há relato na literatura por Zhang *et al.*, (2017) de compostos produzidos por esse agente de biocontrole (*Trichoderma*) com

capacidade de inibir a germinação de sementes de repolho, evidenciando que há possibilidade de metabólitos fúngicos afetarem o processo germinativo.

Nos resultados do Índice de Velocidade de Germinação (IVG) (Figura 4) é possível verificar que a *Sclerotinia sclerotiorum* compromete não apenas a germinação final, como também a dinâmica do processo germinativo. Assim, é possível observar redução progressiva da velocidade de germinação diante do aumento do potencial de inóculo, acentuado a partir de P12, principalmente no tratamento água que apresentou a menor média de velocidade. De acordo com Marcos-Filho (2015), a velocidade de germinação é uma manifestação clássica do vigor de sementes, sendo um indicador mais sensível do desempenho fisiológico, além de que corresponde diretamente à um estabelecimento mais rápido da cultura no campo.

Figura 4 – Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) Velocidade de germinação dos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão da velocidade de germinação em função do potencial de inóculo para cada método de controle.

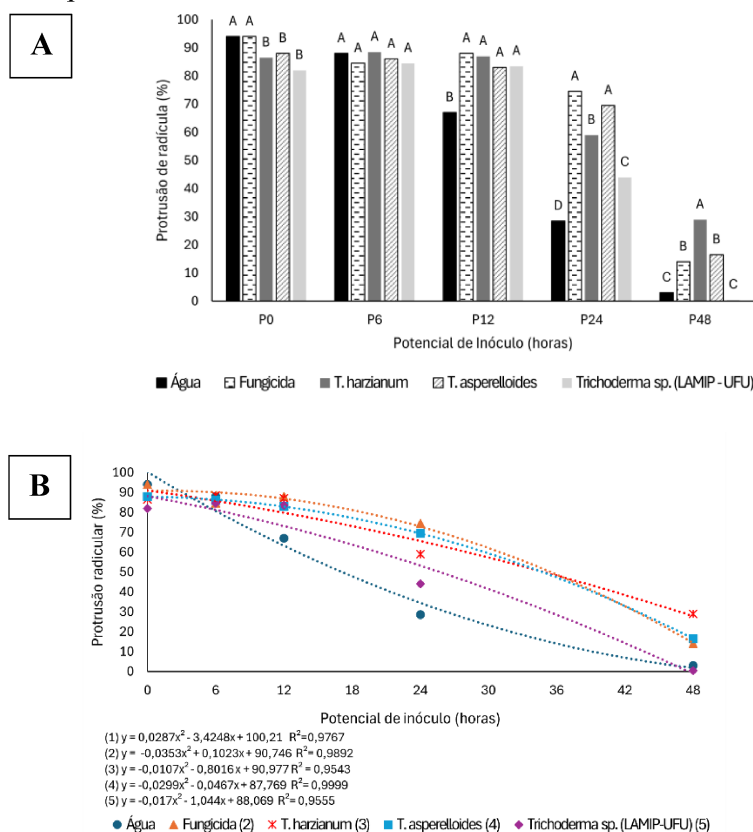


Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil.

Fonte: A própria autora.

Na protrusão radicular (Figura 5B) houve comportamento decrescente com a progressão do potencial de inóculo.

Figura 5 – Protrusão radicular (%) de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) Protrusão radicular dos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão da protrusão em função do potencial de inóculo para cada método de controle.



Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil.

Fonte: A própria autora.

Contudo, a redução da porcentagem de protrusão ficou evidente a partir de P24 para todos os tratamentos (Figura 5A), com exceção do tratamento água, que reduziu a protrusão já em P12 (67%), evidenciando maior sensibilidade a deterioração na ausência de métodos de controle. O fungicida manteve elevada porcentagem de protrusão para a maioria dos potenciais de inóculo, com redução expressiva em P48 (14%). Nos tratamentos biológicos com *Trichoderma* verificou-se redução precoce da protrusão ainda em P0.

Segundo Marcos-Filho (2015), o processo de deterioração manifesta-se inicialmente pelo declínio na velocidade de germinação, decorrente de maior desorganização das membranas da semente, seguido por redução no comprimento das plântulas e aumento na incidência de

anormalidades em função da morte dos tecidos. Entretanto, é comum que a protrusão radicular ainda ocorra em sementes com o desempenho fisiológico comprometido, sendo essa uma das últimas características a ser perdida durante o processo de deterioração. Nesse sentido, correlacionando os resultados de germinação e protrusão, evidencia-se que, mesmo sob elevados potenciais de inóculo (P24), as sementes ainda apresentaram a capacidade de iniciar o processo germinativo, constatado pela protrusão da radícula, embora sem evoluir para plântulas normais.

Houve redução progressiva dos resultados do Índice de Velocidade de Protrusão (IVP) (Figura 6A e 6B) com o aumento dos potenciais de inóculo. O tratamento com fungicida induziu a manutenção da velocidade, com decréscimo expressivo em P48. Contrariamente, no tratamento água verificou-se uma redução significativa da velocidade ainda em P6 e P12. Em sementes mais deterioradas e menos vigorosas, há atraso na germinação e menor crescimento, pois a protrusão precoce da raiz primária relaciona-se diretamente a capacidade de consumo de energia para reativação do metabolismo, ao de reparo de membranas e a síntese de DNA e proteínas (Meneguzzo *et al.*, 2021).

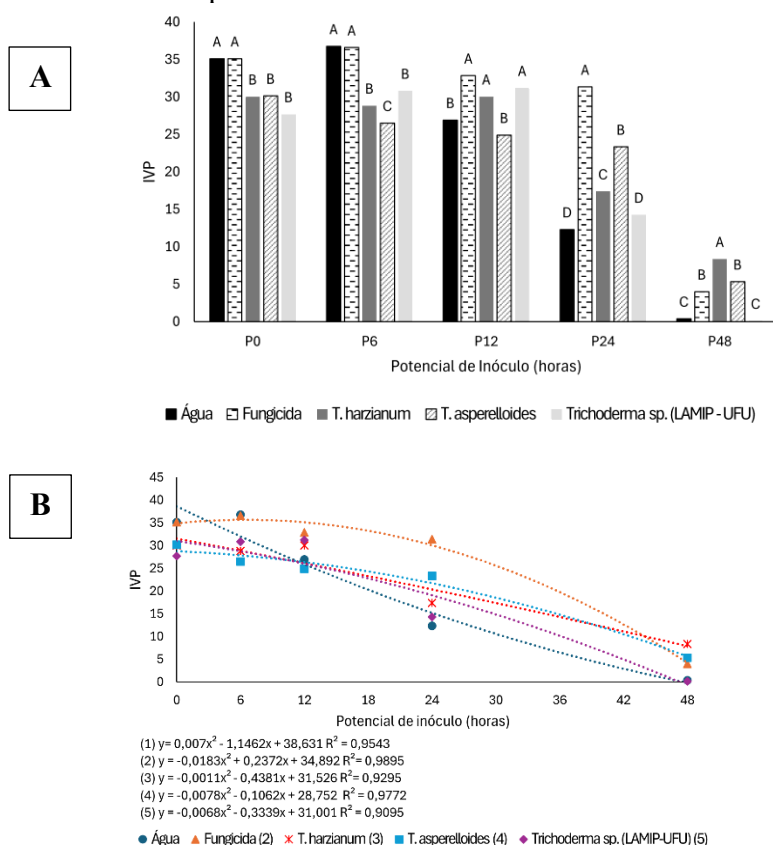
De acordo com Xu *et al.* (2025), a colonização das sementes por fungos pode ocasionar competição por nutrientes, proporcionando redução da disponibilidade de carbono, nitrogênio e energia para o desenvolvimento do embrião, inibindo o crescimento da radícula. Diante disso, índices baseados na velocidade do processo de germinação são reconhecidos por maior sensibilidade às alterações no vigor das sementes quando comparados com a germinação final, uma vez que as alterações fisiológicas se manifestam inicialmente pelo retardo da dinâmica de germinação (Maguire, 1962; Marcos Filho, 2015).

Nesse sentido, ressalta-se ainda que, mesmo na ausência do patógeno (P0), os tratamentos com *Trichoderma* tiveram valores inferiores comparados ao tratamento água, para o IVG e IVP, demonstrando que a resposta não está associada exclusivamente à pressão de inóculo, mas também a interação inicial entre o agente de controle biológico e as sementes de soja. Assim, é possível que as sementes de soja possam apresentar sensibilidade aos metabólitos secundários liberados por *Trichoderma* spp., ocasionando redução da velocidade de germinação.

De maneira geral, a velocidade de protrusão se mostrou mais sensível para captar a perda de vigor que a porcentagem de protrusão e que a germinação final, demonstrando possíveis atrasos metabólicos e impactos fisiológicos ainda em potenciais iniciais do inóculo. Assim, ressalta-se que os danos causados por *S. sclerotiorum* não restringiu a viabilidade final das

sementes, afetando também os processos metabólicos responsáveis pelo início do desenvolvimento embrionário.

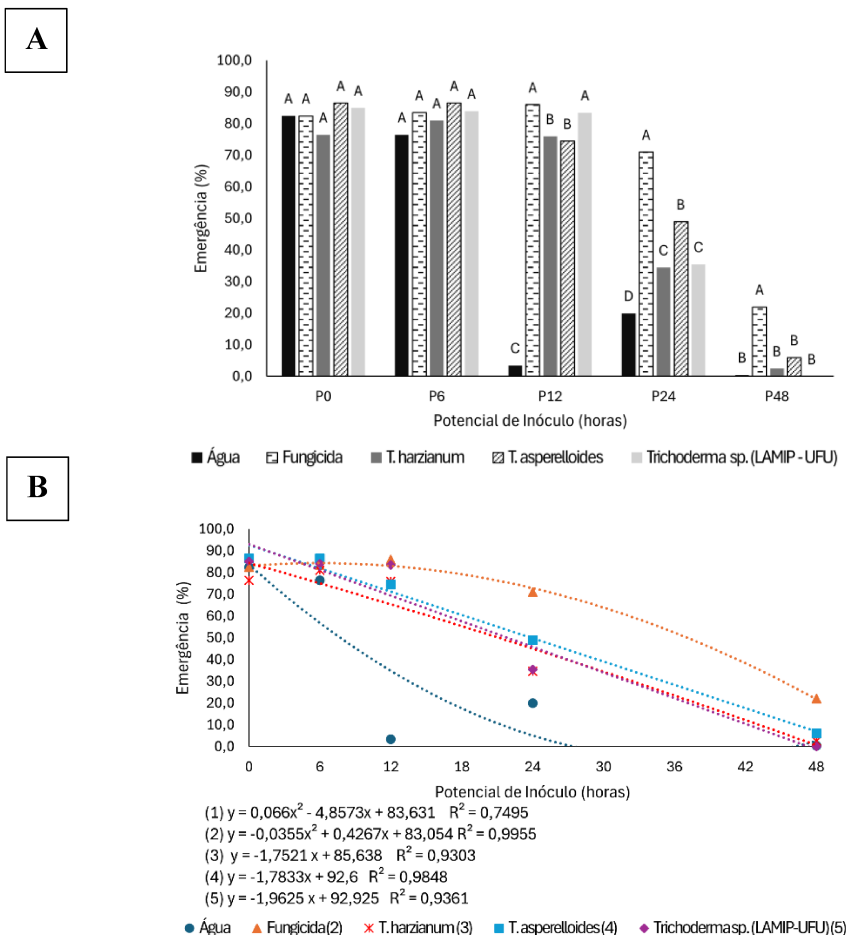
Figura 6 – Índice de Velocidade de Protrusão (IVP) de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) IVP dos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão do IVP em função do potencial de inóculo para cada método de controle



Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil. Fonte: A própria autora.

A emergência de plântulas reduziu progressivamente com a evolução do potencial de inóculo (Figura 7A e 7B). Entretanto, no tratamento água o efeito foi acentuado, com decréscimo expressivo da porcentagem de emergência ainda em P12 (4%).

Figura 7 – Emergência de plântulas (%) de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) Porcentagem de emergência dos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão da emergência em função do potencial de inóculo para cada método de controle.



Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil.

Fonte: A própria autora.

Tratando-se de um teste de vigor, a emergência em areia expressa de maneira mais abrangente o desempenho fisiológico das sementes pois avalia o estabelecimento das plântulas em condições menos controladas, se aproximando àquelas de campo (Marcos-Filho, 2015). Desse modo, na ausência de métodos de controle (água), demonstra-se que a colonização dos tecidos da semente pelo patógeno impacta não apenas a viabilidade, como também compromete o vigor e, conseqüentemente, o estabelecimento inicial das plântulas (Figura 7).

Contudo, com o uso de métodos de controle químico e biológico, e contrário ao observado na germinação em papel, a redução do potencial fisiológico foi atenuada até P12, expressando-se significativamente apenas a partir de P24. Novamente houve maior eficiência com o uso do fungicida (Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil), mesmo na maior pressão

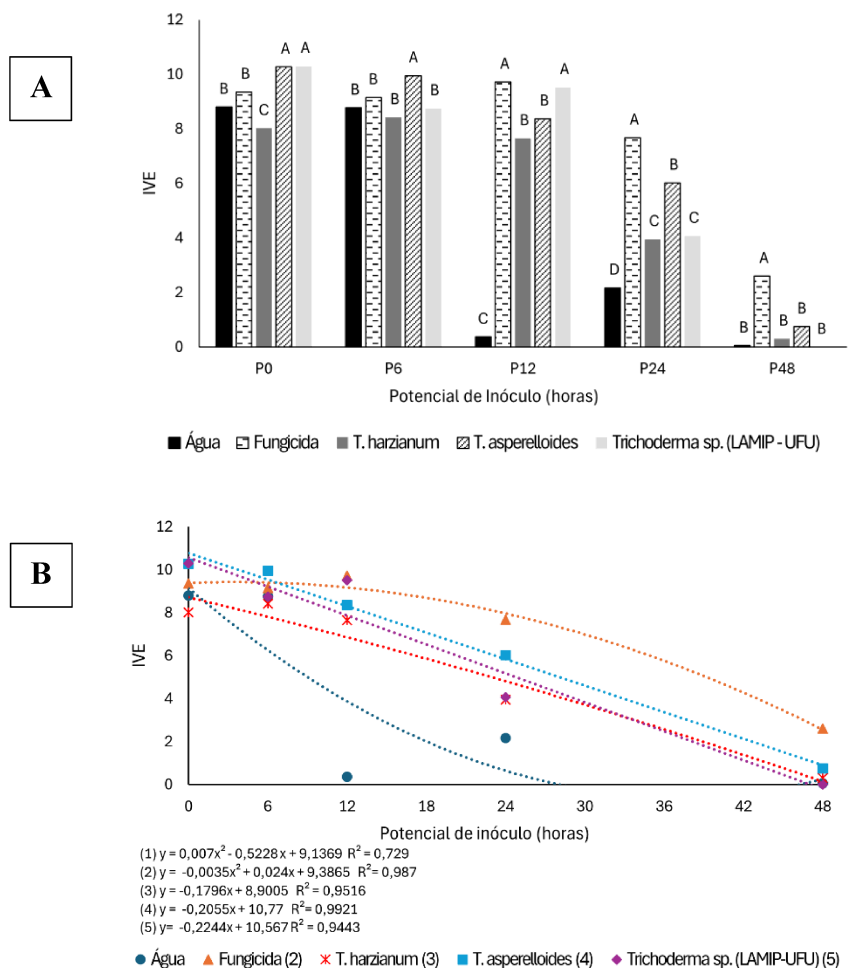
de inóculo (P48) de *Sclerotinia sclerotiorum*. Entretanto, *Trichoderma* sp. LAMIP-UFU, em P12 expressou média semelhante ao químico (84%). De acordo com Silva *et al.* (2017), a eficiência do *Trichoderma* em controlar o mofo-branco está relacionada ao tipo de substrato em que se desenvolve, ocasionando variações no grau de supressão do patógeno. Assim, é possível que o agente de biocontrole apresente desempenho superior com o uso de substrato areia, comparado ao papel.

Referente ao isolado *Trichoderma* sp. LAMIP-UFU observou-se comportamento distinto no substrato areia, uma vez que não foi observado comprometimento do desempenho fisiológico das sementes de soja, tal qual como ocorreu no teste de germinação com papel (Figura 7A). Tal diferença pode se justificar por duas hipóteses. A primeira relaciona-se ao fato de que a produção e expressão de metabólitos secundários por *Trichoderma* spp. podem ser influenciadas por condições ambientais e pelo substrato (Vinale *et al.*, 2014). A segunda hipótese considera que a dinâmica físico-química do substrato pode alterar a difusão desses metabólitos, possivelmente reduzindo o grau de contato direto com a semente. Nesse contexto, o substrato em areia pode atenuar a manifestação de efeitos negativos observados no papel, favorecendo o desempenho das sementes.

No Índice de Velocidade de Emergência (IVE) (Figura 8A e 8B) ficou evidente que o aumento do potencial de inóculo compromete a rapidez de estabelecimento das plântulas no substrato areia. Na ausência de método de controle do patógeno (água), a redução foi acentuada, com atraso significativo na emergência em P12, enquanto as sementes tratadas com o fungicida tiveram maior média de velocidade em todos os potenciais de inóculo. Os tratamentos biológicos apresentaram eficiência de controle intermediário, com destaque para *Trichoderma* sp. LAMIP-UFU, que em P12 apresentou comportamento semelhante ao fungicida.

A redução no vigor na presença do patógeno pode estar relacionada a dificuldade de mobilização de reservas para o eixo de crescimento embrionário, afetando a performance de desenvolvimento inicial das sementes (Marcos-Filho, 2015). Nesse sentido, a partir dos resultados obtidos, a *Sclerotinia sclerotiorum* não apenas reduz o valor total de plântulas emergidas, como também retarda o processo de estabelecimento, comprometendo a uniformidade do estande. Assim, os métodos de controle assumem papel relevante ao proporcionar proteção inicial às sementes, atenuando os efeitos prejudiciais do patógeno no desempenho fisiológico.

Figura 8 – Índice de Velocidade de Emergência (IVE) de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) IVE dos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão do IVE em função do potencial de inóculo para cada método de controle.

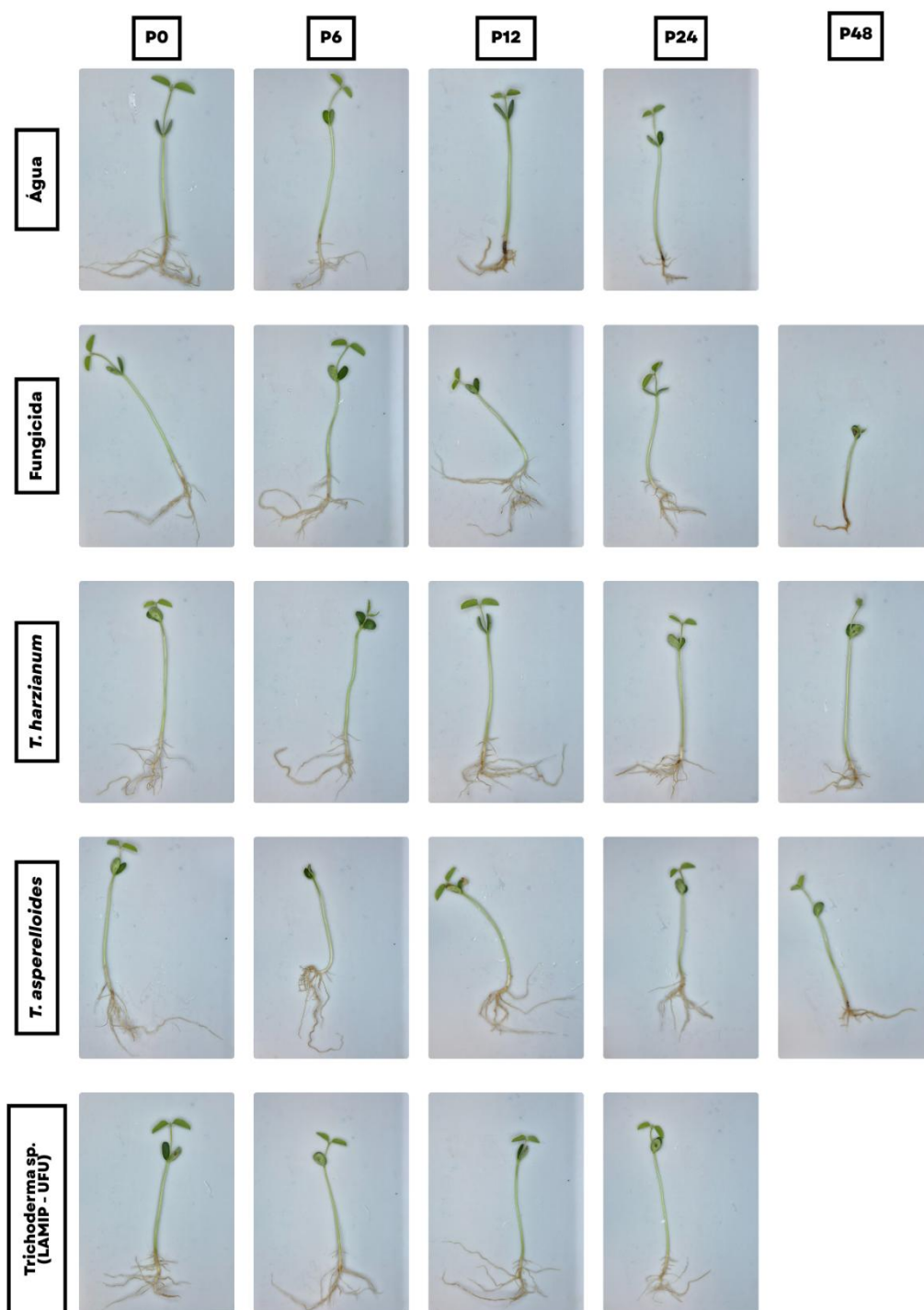


Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil.

Fonte: A própria autora.

Na avaliação final da emergência de plântulas observou-se, visualmente, que algumas plântulas tratadas com *Trichoderma* spp. tiveram maior desenvolvimento radicular (Figura 9), evidenciado por um alongamento da raiz primária associado a maior emissão de raízes secundárias, mesmo sob maiores potenciais de inóculo. Esse comportamento está, possivelmente, associado à capacidade de algumas espécies de *Trichoderma* em estimular o crescimento radicular.

Figura 9 – Representação visual do desenvolvimento radicular de plântulas de soja no teste de emergência, oriundas de sementes submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle.

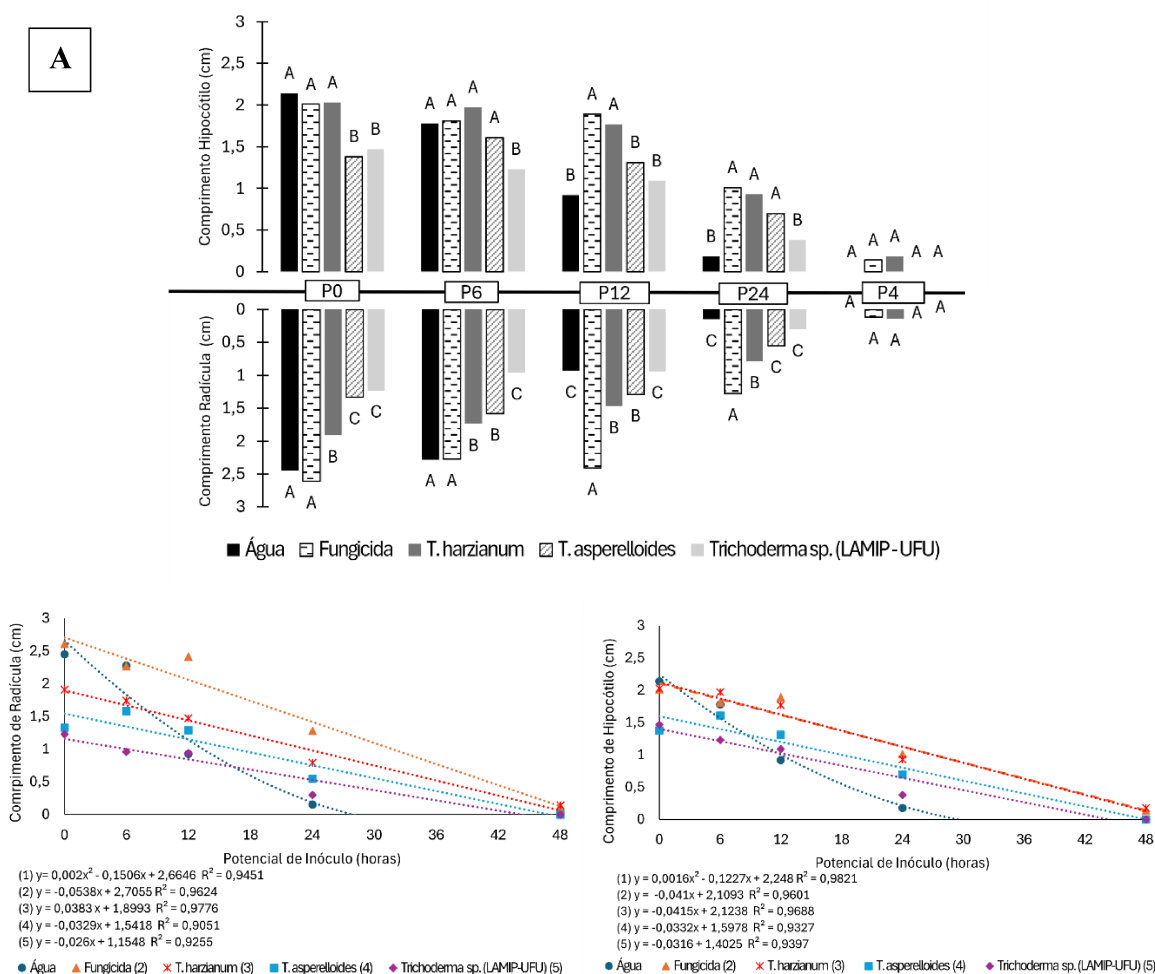


Legenda: Tratamento controle consiste em água destilada e o tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil. Em P48, não foram registradas plântulas desenvolvidas nos tratamentos Controle e *Trichoderma* sp. (LAMIP – UFU).

Fonte: A própria autora.

Houve redução do comprimento da radícula e hipocótilo (Figura 10A e 10B) diante de maiores potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum*.

Figura 10 – Comprimento de hipocótilo e radícula de plântulas de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) Comprimentos dos diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão em função do potencial de inóculo para cada método de controle



Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil. Fonte: A própria autora.

No tratamento de fungicida verificou-se maiores valores de comprimento de parte aérea e radicular, com redução a partir de P24, enquanto o tratamento água houve redução antecipada em P12. O teste de comprimento de plântulas é reconhecido por detectar diferenças no potencial fisiológico de sementes, apresentando elevada sensibilidade para detectar alterações no vigor e

forte correlação com a emergência de plântulas (Krzyzanowski *et al.*, 2020; Meneguzzo *et al.*, 2021).

Embora ambos os órgãos vegetativos tenham apresentado redução de seu comprimento, a radícula apresentou respostas mais sensíveis às alterações fisiológicas. Esse comportamento ocorre, pois, a deterioração tende a se manifestar inicialmente com a restrição do crescimento radicular, uma vez que esse é o primeiro órgão a retomar o crescimento após a embebição e, portanto, depende intensamente de energia para a reativação metabólica, rearranjo de membranas e mobilização de reservas para o embrião (Bewley *et al.*, 2013; Marcos-Filho, 2015).

Nesse sentido, o comprimento da raiz é particularmente sensível para diferenciar alterações no vigor de lotes de sementes de soja, considerando que aquelas de alto vigor irão apresentar maiores raízes primárias, e estarão associados a maior desempenho fisiológico e, consequentemente, maior emergência em campo (Krzyzanowski *et al.*, 2020; Meneguzzo *et al.*, 2021).

Em relação aos tratamentos com *Trichoderma*, o comprimento radicular obteve desenvolvimento inferior ao tratamento água, tanto na presença quanto na ausência do patógeno nos potenciais P0 e P6. Os resultados observados em P0 indicam que a interação inicial entre o agente de controle biológico e a semente pode interferir principalmente no crescimento radicular, sugerindo que possíveis efeitos das concentrações dos isolados possivelmente causam alterações no microambiente da semente durante o início do desenvolvimento da plântula.

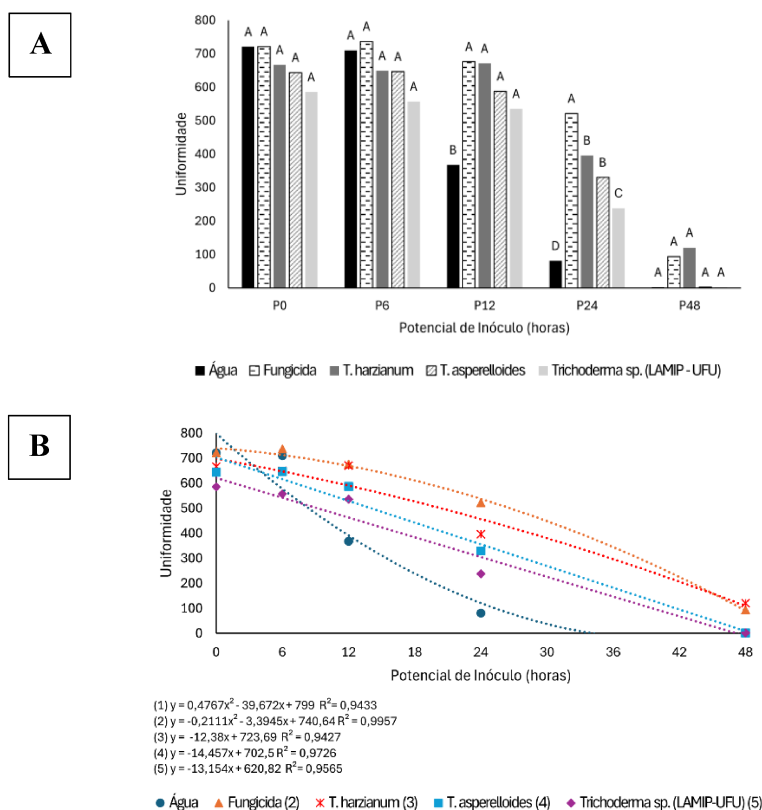
A interação entre o agente de controle biológico e seu hospedeiro vegetal compreende uma série de reações químicas complexas, incluindo a produção de diversos metabólitos secundários voláteis ou difusos (Pelagio-Flores *et al.*, 2017). Dependendo das concentrações e dos isolados de *Trichoderma*, tais compostos podem interferir negativamente no desenvolvimento inicial das plântulas. Oliveira *et al.*, (2024) observaram que concentrações elevadas de *T. harzianum* ocasionaram possíveis efeitos fitotóxicos nas sementes. Adicionalmente, o teste de comprimento é reconhecido como sensível para diagnosticar fitotoxidez ocasionados por tratamentos químicos (Leite *et al.*, 2014), o que sugere que também poderiam detectar os possíveis efeitos associados ao uso de *Trichoderma* spp. no tratamento de sementes.

Além disso, sugere-se ainda que o agente de controle biológico possa modificar o microambiente da semente, acidificando-o, pela produção de compostos orgânicos voláteis, fitormônios e outras moléculas bioativas, que possivelmente podem interferir no crescimento radicular (Pelagio-Flores *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2024). Assim, alterações no equilíbrio

químico do ambiente podem influenciar negativamente processos de divisão celular e alongamento das células da raiz, refletindo em redução no crescimento das plântulas (Graças *et al.*, 2016; Oliveira *et al.*, 2024).

Houve redução do índice de uniformidade (Figura 11A e 11B) com o aumento do potencial de inóculo. Na ausência de métodos de controle (água), observou-se redução antecipada da uniformidade a partir de P12, indicando maior heterogeneidade na resposta fisiológica das sementes diante da maior intensidade de colonização do patógeno. O tratamento químico manteve maiores valores de uniformidade até P24, sugerindo maior proteção do fungicida para as sementes. Já nos tratamentos com *Trichoderma* houve redução da uniformidade a partir de P24, com comportamento dependente do isolado.

Figura 11 – Índice de Uniformidade de plântulas de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) Índice de Uniformidade de diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão em função do potencial de inóculo para cada método de controle.



Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos; O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil.

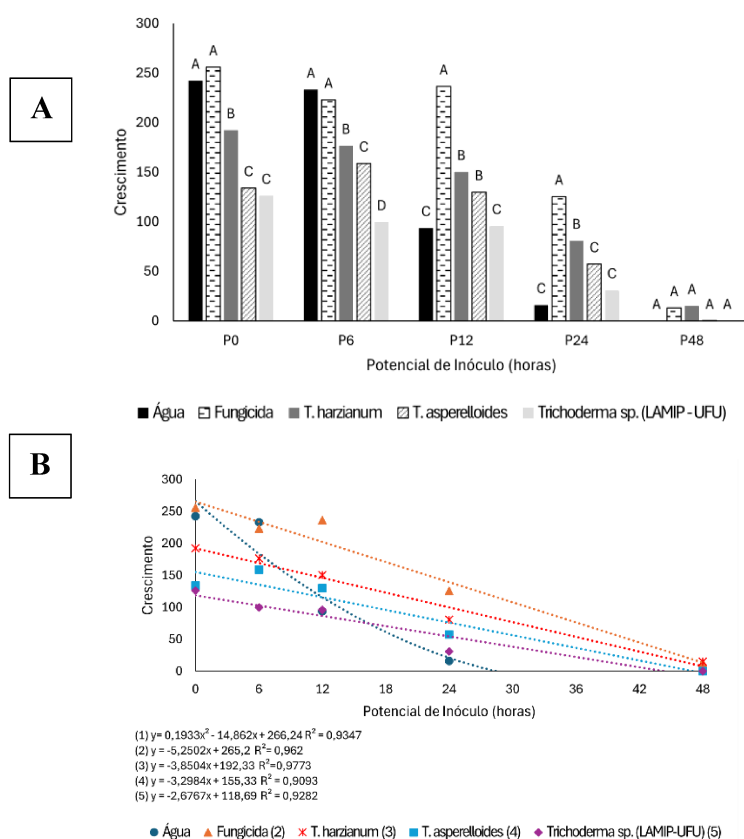
Fonte: A própria autora.

Os dados do índice de uniformidade são de extrema importância para compor a análise do vigor, pois altas taxas de uniformidade refletem na capacidade de germinação rápida e

homogênea, que constituirá um estande adequado de plântulas no campo, principalmente sob condições ambientais adversas (Leite *et al.*, 2020; Egli; Rucker, 2012). Entretanto, ressalta-se que esse índice não deve ser analisado de maneira isolada, tendo em vista que plântulas pouco desenvolvidas também podem gerar altas taxas de uniformidade (Leite *et al.*, 2020).

O Índice de Crescimento (Figura 12A e 12B), por sua vez, apresentou variações entre os tratamentos em todos os potenciais.

Figura 12 – Índice de Crescimento de plântulas de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) Índice de Crescimento de diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão em função do potencial de inóculo para cada método de controle.



Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil.
 Fonte: A própria autora.

Observou-se menor crescimento das plântulas quando as sementes foram tratadas com os isolados de *Trichoderma*, mesmo na ausência de patógeno, enquanto o fungicida, apresentou maiores valores até P12, e com redução mais acentuada a partir de P24.

Embora o crescimento das plântulas tenha apresentado variações desde P0, a uniformidade manteve-se elevada até P12, indicando que a redução inicial do desempenho

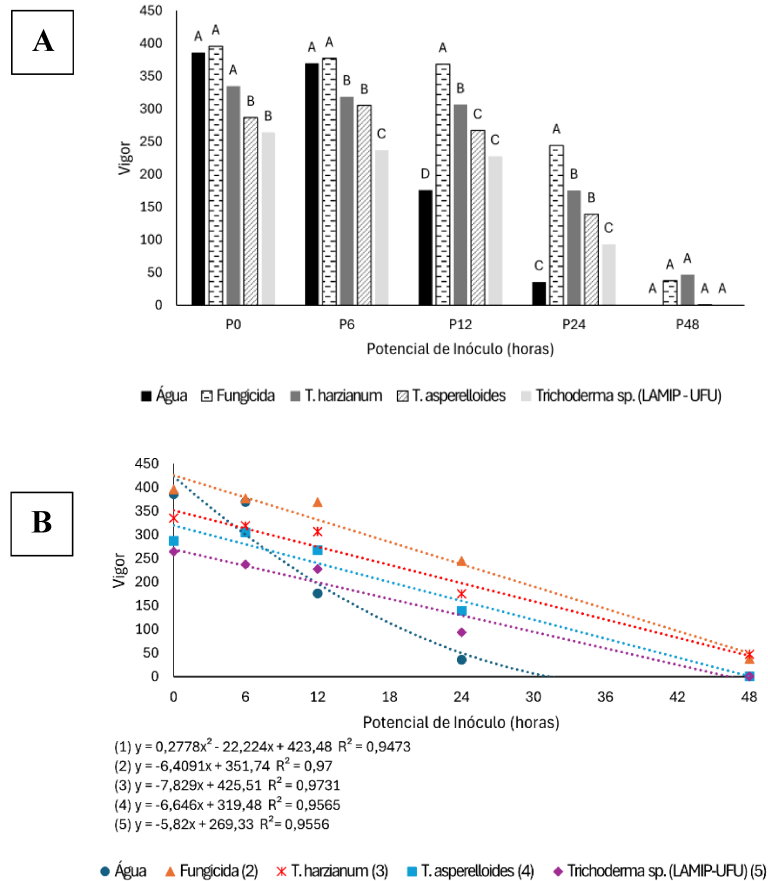
ocorreu de maneira relativamente uniforme entre as sementes. Contudo, a partir de P24, além da redução do crescimento, houve redução acentuada da uniformidade, evidenciando maior variabilidade fisiológica das sementes em decorrência do período de exposição ao inóculo de *S. sclerotiorum*. Assim, sugere-se que, diante de baixos potenciais de inóculo, o patógeno reduz o desempenho das sementes de modo relativamente uniforme, enquanto sob pressões maiores, além de comprometer o crescimento, ocasiona maiores diferenças fisiológicas entre as sementes, refletindo em maior desuniformidade.

Sementes mais vigorosas tendem a apresentar maiores taxas de crescimento e uniformidade, em função da rápida reativação metabólica, reorganização das membranas e eficiente mobilização de reservas, ao contrário de sementes com vigor comprometido, nas quais esses processos ocorrem com menor eficiência (Meneguzzo *et al.*, 2021). Esse comportamento foi evidenciado nos resultados do Índice de Vigor (Figura 13A e 13B), no qual o aumento do potencial de inóculo esteve associado à redução progressiva no vigor em todos os tratamentos, evidenciando que *S. sclerotiorum* compromete a qualidade fisiológica da semente.

O tratamento com fungicida manteve os valores de vigor das sementes elevado, principalmente em P24, indicando maior estabilidade fisiológica das sementes sob pressão do patógeno. Isso pode estar relacionado à ação rápida e direta dos princípios ativos, reduzindo a colonização e preservando os tecidos de reserva. Contudo, apesar de fungicidas serem o meio mais eficiente de controle, os produtos químicos estão sujeitos a se tornarem ineficientes devido a seleção de isolados resistentes, além de seus impactos ao ecossistema e à saúde humana, tornando necessário o uso de técnicas de manejo integrado (Sood *et al.*, 2020; Albert *et al.*, 2022; Macena *et al.*, 2019)

Em contrapartida, os tratamentos com *Trichoderma* apresentaram comportamento variável entre os isolados analisados. Observou-se redução no índice de vigor até mesmo na ausência do patógeno (P0), reforçando a hipótese de que a interação inicial entre a semente e o agente de controle biológico pode provocar alterações fisiológicas detectáveis no desenvolvimento das plântulas e vigor das sementes. Entretanto, é válido ressaltar que, sob potenciais P12 e P24, os isolados mantiveram desempenho superior ao tratamento água, indicando que o agente de controle biológico foi capaz de atenuar os impactos de *S. sclerotiorum* nas sementes de soja.

Figura 13 – Índice de Vigor de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais de inóculo de *S. sclerotiorum* e métodos de controle. (A) Índice de Vigor de diferentes tratamentos sob cada potencial de inóculo; (B) Ajustes de regressão em função do potencial de inóculo para cada método de controle.



Legenda: (A) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. (B) Modelos de regressão ajustados para cada tratamento em função do potencial de inóculo, quando significativos. O tratamento fungicida corresponde à Metalaxil-M + Tiabendazol + Fludioxonil.

Fonte: A própria autora.

4 CONCLUSÃO

O aumento do potencial de inóculo de *S. sclerotiorum* aumentou a incidência do patógeno nas sementes, reduzindo a germinação, emergência e vigor.

O fungicida apresentou maior eficiência no controle, enquanto o controle biológico com *Trichoderma spp.* foi influenciado pela pressão de inóculo.

REFERÊNCIAS

- ABDELRHIM, A. S.; HEMEDA, N. F.; MWAHEB, M. A.; OMAR, M. O. A.; DAWOOD, M. F. A. The role of *Trichoderma koningii* and *Trichoderma harzianum* in mitigating the combined stresses motivated by *Sclerotinia sclerotiorum* and salinity in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Plant Stress*, v. 11, 100370, 2024. DOI: [10.1016/j.stress.2024.100370](https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100370).
- ALBERT, D.; DUMONCEAUX, T.; CARISSE, O.; BEAULIEU, C.; FILION, M. Combining desirable traits for a good biocontrol strategy against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microorganisms*, v. 10, n. 6, e1189, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061189>.
- BAI, S.; ZHANG, M.; TANG, S.; LI, M.; WU, R.; WAN, S.; CHEN, L.; WEI, X.; LI, F. Research progress on benzimidazole fungicides: a review. *Molecules*, Basel, v. 29, n. 6, 1218, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29061218>.
- BAZIE TAGELE, S.; GACHOMO, E. W. Evaluating the effects of mefenoxam on taxonomic and functional dynamics of nontarget fungal communities during carrot cultivation. *Scientific Reports*, [S. l.], v. 14, 9867, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59587-2>.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. 3. ed. New York: Springer, 2013.
- BOTELHO, L. S.; ZANCAN, W. L. A.; MACHADO, J. C.; FRANÇA-NETO, J. B. Detection of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean seeds by blotter test and qPCR. *Journal of Seed Science*, Londrina, v. 37, n. 4, p. 310–318, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n1141460>
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. *Regras para análise de sementes (RAS)*. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 18 set. 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Manual de análise sanitária de sementes*. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Secretaria de Defesa Agropecuária; MAPA/ACS, 2009. 202 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/manual-de-analise-sanitaria-de-sementes/view>. Acesso em: 02 fev. 2026.
- CASTAN, D. O. C.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. *Scientia Agricola*, v. 75, n. 2, p. 167–172, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0401>.
- CHRISTIANSEN, J. E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley, CA: University of California, California Agricultural Experiment Station, 1942. (California Agricultural Experiment Station Bulletin, 670).

COMITÊ DE AÇÃO À RESISTÊNCIA A FUNGICIDAS. *Novas recomendações para o manejo de doenças em soja*. Holambra, SP: FRAC-Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.frac-br.org/>. Acesso em: 02 fev. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). *Acompanhamento da safra brasileira*. 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safras>.

EGLI, D. B.; RUCKER, M. Seed vigor and the uniformity of emergence of corn seedlings. *Crop Science*, v. 52, p. 2774–2782, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.01.0064>.

FRANÇA, S. K. S. de; SIQUEIRA, C. S.; GUIMARÃES, M. R. F.; MACHADO, J. da C. Quantification and conceptual validation of the inoculum potential of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean and bean seeds. *Journal of Seed Science*, Londrina, v. 43, e202143022, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v43236031>

GRAÇAS, J. P.; RUIZ-ROMERO, R.; FIGUEIREDO, L. D.; MATTIELLO, L.; PERES, L. E. P.; VITORELLO, V. A. Root growth restraint can be an acclimatory response to low pH and is associated with reduced cell mortality: a possible role of class III peroxidases and NADPH oxidases. *Plant Biology*, v. 18, p. 658–668, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/plb.12443>.

GUIMARÃES, M. R. F.; SIQUEIRA, C. S.; MACHADO, J. C.; FRANÇA, S. K. S.; GUIMARÃES, G. C. Evaluation of inoculum potential of pathogens in seeds: relation to physiological quality and DNA quantification by qPCR. *Journal of Seed Science*, Londrina, v. 39, n. 3, p. 224–233, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n3163901>.

HADDAD, P. E.; LEITE, L. G.; LUCON, C. M. M.; HARAKAVA, R. Selection of *Trichoderma* spp. strains for the control of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 52, n. 12, p. 1140–1148, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017001200002>

JULIATTI, F. C.; REZENDE, A. A.; JULIATTI, B. C. M.; MORAIS, T. P. *Trichoderma* as a biocontrol agent against *Sclerotinia* stem rot or white mold on soybeans in Brazil: usage and technology. In: SHAH, M. M. (ed.). *Trichoderma – the most widely used fungicide*, 2019. p. 1–24. DOI: [10.5772/intechopen.84544](https://doi.org/10.5772/intechopen.84544)

KANDEL, R.; CHEN, C. Y.; GRAU, C. R.; DORRANCE, A. E.; LIU, J. Q.; WANG, Y.; WANG, D. Soybean resistance to white mold: evaluation of soybean germplasm under different conditions and validation of QTL. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 9, e505, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00505>.

KILANI, J.; FILLINGER, S. Phenylpyrroles: 30 years, two molecules and (nearly) no resistance. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, v. 7, 2014, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02014>.

KRYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: Abrates, 2020.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; GOMES-JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.;

VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 2020. p. 79–127.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. *A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura*. Londrina: EMBRAPA Soja, 2018. 24 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177391/1/CT136-online.pdf>.

LEITE, C. A. M.; FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; GOMES-JUNIOR, F. G.; LOPES, I. O. N.; HENNING, F. A. Validation of the Vigor-S image analysis system for the characterization of phytotoxicities in soybean seedlings. *Journal of Seed Science*, Londrina, v. 46, e202379386, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v46279386>

MACENA, A. M. F.; KOBORI, N. N.; MASCARIN, G. M.; VIDA, J. B.; HARTMAN, G.L. Antagonism of *Trichoderma*-based biofungicides against Brazilian and North American isolates of *Sclerotinia sclerotiorum* and growth promotion of soybean. *BioControl*, Dordrecht, v. 65, n. 2, p. 235–246, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-019-09976-8>.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination — aid seedling emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, v. 2, n. 2, p. 176–177, Mar./Apr. 1962.

MAHMOOD, A.; KATAOKA, R. Potential of biopriming in enhancing crop productivity and stress tolerance. In: *Advances in Seed Priming*. Berlin/Heidelberg: Springer, 2018. p. 127–145. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_9.

MARCOS-FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Londrina: ABRATES, 2015.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 72, n. 4, p. 363–374, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>.

MENEGUZZO, M. R. R.; MENEGHELLO, G. E.; NADAL, A. P.; XAVIER, F. da M.; DELLAGOSTIN, S. M.; CARVALHO, I. R.; GONÇALVES, V. P.; LAUTENCHLEGER, F.; LÂNGARO, N. C. Seedling length and soybean seed vigor. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 51, n. 7, e20190495, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190495>.

MUELLER, D.S.; HARTMAN, G.L.; PEDERSEN, W.L. Development of sclerotia and apothecia of *Sclerotinia sclerotiorum* from infected soybean seed and its control by fungicide seed treatment. *Plant Disease*, Saint Paul, v. 83, n. 12, p. 1113–1115, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS.1999.83.12.1113>.

NÓBREGA, J. S.; NASCIMENTO, L. C. Seed sanity and its influence on the control of phytopathogens. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p. e649108101, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8101>.

OLIVEIRA, C. F.; TOMASI, T. C.; SANTOS, C. C.; PROENÇA, V. S.; SCALON, S. P. Q. Seed biopriming with *Trichoderma harzianum* in soybean subjected to salt stress. *Brazilian Journal of Biology*, v. 84, e288981, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.288981>.

PELAGIO-FLORES, R.; ESPARZA-REYNOSO, S.; GARNICA-VERGARA, A.; LÓPEZ-BUCIO, J.; HERRERA-ESTRELLA, A. Trichoderma-induced acidification is an early trigger for changes in *Arabidopsis* root growth and determines fungal phytostimulation. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, art. 822, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00822>.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 04 fev. 2026.

ROSSETTI, C.; SARAIVA, C. R. C.; MADRUGA, F. B.; FIGUEIREDO, J. C.; ROSA, C. P.; MADRUGA, N. P.; THIEL, K. T. R.; BOEIRA, K. C.; GELHING, F.; KLUG, E. Sanitary standards in seeds. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 7, p. e4711726719, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.26719>.

SAKO, Y.; MCDONALD, M. B.; FUJIMURA, K.; EVANS, A. F.; BENNETT, M. A. A system for automated seed vigor assessment. *Seed Science and Technology*, v. 29, n. 3, p. 625–636, 2001. Disponível em: <https://www.eurofinsus.com/media/162083/seed-vigor-imaging-system.pdf>.

SARTORI DAMETO, L.; KRZYZANOWSKI, F. C.; EUSTÁQUIO DE SÁ, M.; MOREIRA, A.; ALEXANDRA, L. Physiological performance of conventional soybean cultivars seeds as a function of size and moisture content during germination: qualidade de sementes de soja. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 98, n. 2, p. 119–131, 2023. DOI: <https://doi.org/10.37856/bja.v98i2.4330>.

SILVA, F. F.; CASTRO, E. M.; MOREIRA, S. I.; FERREIRA, T. C.; LIMA, A. E.; ALVES, E. Emergência e análise ultraestrutural de plântulas de soja inoculadas com *Sclerotinia sclerotiorum* sob efeito da aplicação de *Trichoderma harzianum*. *Summa Phytopathologica*, Botucatu, v. 43, n. 1, p. 41–45, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2212>.

SILVA, L. G.; CAMARGO, R. C.; MASCARIN, G. M.; NUNES, P. S. O.; DUNLAP, C.; BETTIOL, W. Dual functionality of *Trichoderma*: biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* and biostimulant of cotton plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 983127, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.983127>

SILVA, L. J.; MEDEIROS, A. D.; OLIVEIRA, A. M. S. SeedCalc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. *Journal of Seed Science*, v. 41, n. 2, p. 250–257, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2217267>.

SILVA, R. C.; GUIMARÃES, R. A.; COSTA, L. M. O.; MEDEIROS, F. H.V. Impact of *Trichoderma*-based products on *Sclerotinia sclerotiorum*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 55, e81360, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632025v5581360>.

SOOD, M.; KAPOOR, D.; KUMAR, V.; SHETEIWY, M. S.; RAMAKRISHNAN, M.; LANDI, M.; ARANITI, F.; SHARMA, A. *Trichoderma*: the “secrets” of a multitasking biocontrol agent. *Plants*, v. 9, n. 6, 762, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9060762>.

SUMIDA, C. H.; DANIEL, J. F. S.; ARAUJO, A. P. C. S.; PEITL, D. C.; ABREU, L. M.; DEKKER, R. F. H.; CANTERI, M. G. *Trichoderma asperelloides* antagonism to nine *Sclerotinia sclerotiorum* strains and biological control of white mold disease in soybean

plants. *Biocontrol Science and Technology*, v. 28, n. 2, p. 142–156, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1430743>.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L.; WOO, S. L.; NIGRO, M.; MARRA, R.; LOMBARDI, N.; PASCALE, A.; RUOCCO, M.; LANZUISE, S.; MANGANIELLO, G.; LORITO, M. Trichoderma secondary metabolites active on plants and fungal pathogens. *The Open Mycology Journal*, v. 8, suppl. 1, p. 127–139, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.2174/1874437001408010127>

WILLBUR, J. F.; MCCAGHEY, M.; KABBAGE, M.; SMITH, D. L. An overview of the *Sclerotinia sclerotiorum* pathosystem in soybean: impact, fungal biology, and current management strategies. *Tropical Plant Pathology*, Brasília, DF, v. 44, n. 1, p. 3–11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0250-0>.

XU, X.; CHENG, C.; LI, Y.; XIN, X.; WANG, Y.; ZHANG, J.; DENG, H.; DENG, Z.; YIN, G. Optimization and analysis of the seed viability monitoring for seven crop species to inhibit fungal infection. *Seed Biology*, v. 4, e004, 2025. DOI: <https://doi.org/10.48130/seedbio-0025-0004>.

YADAV, K.; KHARE, P. Exploring the multifaceted roles of *Trichoderma* secondary metabolites. *Canadian Journal of Microbiology*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjm-2025-0045>.

ZANCAN, W. L. A.; MACHADO, J. C.; BAUTE, N. L.; SOUSA, B. F. M. Relationship between mycelial inoculum of *Sclerotinia sclerotiorum* and performance of sunflower seeds under controlled conditions. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 31, n. 3, p. 775–784, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n3a2015-26090>.

ZHANG, J.-C.; CHEN, G.-Y.; LI, X.-Z.; HU, M.; WANG, B.-Y.; RUAN, B.-H.; ZHOU, H.; ZHAO, L.-X.; ZHOU, J.; DING, Z.-T.; YANG, Y.-B. Phytotoxic, antibacterial, and antioxidant activities of mycotoxins and other metabolites from *Trichoderma* sp. *Natural Product Research*, [S. l.], v. 31, n. 23, p. 2745–2752, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1295235>.