

Ação do fosfito na indução de resistência da soja no manejo de mofo branco na região do cerrado

Ruiter Luiz Saches Macedo ⁽¹⁾

Warlyton Silva Martins ⁽²⁾ e

Flávia Fernandes Ribeiro de Miranda ⁽³⁾

Data de submissão: 16/1/2021. Data de aprovação: 24/5/2021.

Resumo – Um dos métodos potenciais no controle da doença de plantas é a indução de resistência, que se caracteriza por ativar seus mecanismos de defesa natural. Por ser um método indireto no manejo de doenças em soja, o presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de indução de resistência da soja ao fungo *S. sclerotiorum* através do uso do fosfito sob diferentes doses e modos de aplicação. O delineamento utilizado foi em Blocos Inteiramente Casualizados (BIC) em esquema fatorial 3x5, consistindo em 3 formas de aplicação do ácido fosforoso (F1: aplicação no solo; F2: aplicação foliar em pós-emergência; e F3: aplicação via tratamento de semente), com 5 doses de fosfito (Testemunha; D2: 1; D3: 2; D4: 3; e D5: 4 mL.L⁻¹) e 4 repetições. Após manejo e aplicação dos tratamentos, as plântulas foram avaliadas aos 15 DAE (Dias Após a Emergência), e seus sintomas e/ou agressividade foram criteriosamente observados e enquadrados numa escala de notas para severidade. As notas obtidas foram transformadas de acordo com a fórmula proposta por Mckinney. Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. O uso de fosfito apresentou ampla eficiência, cuja menor severidade e/ou processo de indução de resistência foi obtida nas maiores dosagens (3,0 e 4,0 mL.L⁻¹) em todas as formas de aplicação do fosfito. Portanto, o uso do fosfito mostra-se como uma alternativa no processo de indução de resistência da soja ao mofo branco quando aplicado em maiores dosagens.

Palavras-chave: Controle alternativo. *Glycine max*. Resistência induzida.

Phosphite action to induce resistance in soybean in the management of white mold in the cerrado region

Abstract – One of the potential methods in the control of plant disease is the induction of resistance, which is characterized by activating their mechanisms of natural defense. As it is an indirect method in the management of diseases in soybeans, the present study aimed to evaluate the capacity of inducing resistance of soybeans to the fungus *S. sclerotiorum* using phosphite under different doses and modes of application. The design used was in Fully Randomized Blocks (FRB) in a 3x5 factorial scheme, consisting on 3 forms of phosphorous acid application (F1: application to the soil; F2: foliar application in post-emergence and F3: application via seed treatment), with five doses phosphite (Control; D2: 1; D3: 2; D4: 3 and D5: 4 mL.L⁻¹) and 4 repetitions. After handling and applying the treatments, the seedlings were evaluated at 15 DAE (Days After Emergence), and the symptoms and/or aggression were carefully observed and framed on a scale of scores for severity. The grades obtained were transformed according to the formula proposed by Mckinney. The data was submitted to analysis of variance by the F

¹ Engenheiro Agrônomo, Centro Universitário Católica do Tocantins - UniCatólica.
*rlrepresentacao17@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4066-8948>.

² Engenheiro Agrônomo e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. Bolsista da Capes. *warlytonsilva@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7284-3395>.

³ Professora mestra do curso de Agronomia do Centro Universitário Católica do Tocantins – UniCatólica.
*flavia.fernandes@catolica-to.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7199-8766>.

test, and the means were compared by the Tukey test at 5% probability. The use of phosphite showed wide efficiency, whose lower severity and / or resistance induction process was obtained in the highest dosages (3.0 and 4.0 mL.L⁻¹) in all forms of phosphite application. Therefore, the use of phosphite is shown as an alternative in the process of inducing resistance of soy to white mold, when applied in higher dosages.

Keywords: Alternative control. *Glycine max*. Induced resistance.

Introdução

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), nos últimos anos, tem sido uma das principais culturas cultivadas devido a sua alta necessidade no mercado internacional, dela derivando vários produtos, em detrimento do seu grande fator de impacto econômico no país. Na safra de 2019/2020, a produção estimada foi de 121,09 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

Em relação ao desenvolvimento da última fronteira agrícola do Brasil, MATOPIBA (acrônimo formado com as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), as pesquisas por maiores produções vêm crescendo exponencialmente no sentido de absorver maiores níveis tecnológicos a serem empregados nessa cultura (ROCHA *et al.*, 2018). Neste contexto, o estado do Tocantins apresenta-se emergente no cenário nacional como um grande produtor de grãos, que atingiu 4,6 milhões de toneladas para a safra de 2018/2019 (CONAB, 2019).

Apesar de a cultura se adaptar muito bem às nossas condições edafoclimáticas, o seu máximo potencial de rendimento dificilmente é alcançado, devido, principalmente, a fatores relacionados à fitossanidade da planta, tendo como protagonistas as pragas e doenças que, em geral, são de difícil controle. Uma das principais doenças que vem afetando a cadeia produtiva da soja é o mofo branco, que tem como agente causal o fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, que ataca a cultura desde o início até o fim do ciclo fenológico da cultura (NERES *et al.*, 2020).

Os produtores de soja enfrentam grandes dificuldades no uso de métodos químicos para o controle do mofo branco, pois são poucos os fungicidas registrados para a doença nessa cultura. No entanto, devido ao alto poder ofensivo que esses produtos químicos têm em relação à natureza, faz-se necessária a adoção de novas alternativas de proteção das plantas contra essa doença, métodos estes que não prejudiquem os seres humanos, os animais, o meio ambiente e a microbiota do solo (PINHO *et al.*, 2020).

Uma das estratégias adotadas pelos produtores tem sido a utilização de compostos que promovam a indução de resistência das plantas. Tal método consiste na ativação de mecanismos de defesa das plantas, que ocorre por meio de sucessivos eventos e sinais, que se iniciam no reconhecimento pela planta do agente agressor e culmina com a ativação das barreiras físicas e químicas envolvidas no processo (CAMOCHEA *et al.*, 2020).

O uso de produtos que promovam a resistência de plantas, a exemplo do fosfito, vem se tornando um meio que, segundo estudos, tem se mostrado uma forma eficaz e econômica para o controle de doenças em plantas, podendo atuar diretamente, inibindo o crescimento micelial e esporulação do patógeno, fazendo com que se diminua o uso de defensivos e, consequentemente, reduzindo os impactos ao meio ambiente (PIETROBELLINI *et al.*, 2020).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de indução de resistência da soja ao fungo *S. sclerotiorum* através do uso do fosfito sob diferentes doses e modos de aplicação.

Materiais e Métodos

Local de Pesquisa

O experimento foi conduzido em laboratório de fitopatologia e casa de vegetação do Centro Universitário Católica do Tocantins – UniCatólica, Campus de Ciências Agrárias e

Ambientais em Palmas – TO, localizado na Rodovia TO 050, Loteamento Coqueirinho, Lote 7, com coordenadas geográficas “48°16’34” W e 10°32’45” S, em altitude de 230 m, no período compreendido entre maio e junho de 2019.

Obtenção e inoculação do isolado

O isolado de *S. sclerotiorum* foi adquirido da coleção do laboratório de fitopatologia do Centro Universitário Católica do Tocantins – UniCatólica. Para a repicagem do isolado, necessitou-se do prévio cultivo do fungo em placas de petri, as quais foram vertidas em meio de cultura BDA (batata-dextrose-ágar), mantidas em incubação, à temperatura de ± 20 °C e fotoperíodo de 12 horas por 10 dias.

Posteriormente, realizou-se a inoculação em arroz parboilizado previamente esterilizado, o qual foi colocado sobre a superfície da placa colonizada com *Sclerotinia*, à temperatura de ± 20 °C e fotoperíodo de 12 horas por 5 dias.

Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em Blocos Inteiramente Casualizados em esquema fatorial 3x5, consistindo em 3 formas de aplicação do ácido fosforoso (F1: aplicação no solo; F2: aplicação foliar em pós-emergência; e F3: aplicação via tratamento de semente), com 5 doses de fosfito (Testemunha; D2: 1 mL.L⁻¹; D3: 2 mL.L⁻¹; D4: 3 mL.L⁻¹; e D5: 4 mL.L⁻¹) e 4 repetições.

Preparo do substrato

Utilizou-se um substrato com mistura de 50% de solo peneirado, 25% de areia lavada e 25% de substrato comercial (Bioplant®), previamente autoclavado sob a temperatura de 120 °C durante 20 minutos, e seco à temperatura ambiente. O acondicionamento do substrato se deu em vasos de 1 litro.

Misturou-se o fungo ao substrato, previamente inoculado em arroz parboilizado, consistindo no total de 5 grãos de arroz colonizados por vaso.

Formas de aplicação

Aplicação via solo: A aplicação no solo do ácido fosforoso (30% de P₂O₅ e 20% de K₂O) foi realizada via pulverização nas concentrações especificadas e, em seguida, realizada a semeadura da soja, cultivar Bonus®.

Aplicação via semente: Realizou-se o tratamento das sementes anteriormente à sua semeadura, as quais foram submetidas às doses específicas por tratamento e emergidas na solução por 10 minutos.

Aplicação via foliar: A aplicação foliar em pós-emergência foi realizada com auxílio de borrifadores quando as plântulas se encontravam em estádio V2.

Avaliação

As plântulas foram avaliadas aos 15 DAE (dias após a emergência), cujos sintomas e/ou agressividade foram criteriosamente observados e enquadrados numa escala de notas, para severidade, descritas na Tabela 1, adaptada por Venturoso (2012).

Tabela 1 – Escala de notas para análise de severidade da doença causada pelo *S. sclerotiorum*.

Nota	Descrição
0	Ausência de sintomas
1	Início de desenvolvimento de uma lesão circular
2	Lesão de até 1,0 cm de comprimento
3	Lesão entre 1,0 e 2,0 cm de comprimento
4	Lesão entre 2,1 e 5,0 cm de comprimento
5	Lesões maiores que 5,0 cm de comprimento
6	Planta morta
7	Aparecimento de escleródios

Fonte: Venturoso (2012).

As notas obtidas foram transformadas de acordo com a fórmula proposta por Mckinney (1923): índice de doença ID (%) = Σ (valor da nota x N° de plantas com a mesma nota) x 100 / (número total de plantas x valor máximo da escala de notas).

Após, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussões

A análise de variância dos dados (Tabela 2) mostra que houve diferença significativa em função das doses de fosfito e a interação entre as doses e as formas de aplicação do produto ($p>0,01$). Observa-se ainda diferença estatística para as formas de aplicação ($p<0,05$).

Tabela 2 – Análise de variância da escala de severidade do fungo *S. sclerotiorum* submetido à aplicação do fosfito em diferentes métodos de tratamento. Palmas – TO, 2021.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
Doses do Fosfito (D)	4	6,33	1,58	24,87**
Formas de Aplicação (F)	2	0,64	0,32	5,07*
Interação D*F	8	2,88	0,33	5,66**
Resíduo	45			
CV (%)	15,95			

Fonte: Os autores (2021).

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação (%); SQ: Soma de quadrado; QM: Quadrado médio; F: Estatística do teste F.

Na Tabela 3 estão expressos os resultados médios obtidos a partir da avaliação de severidade do fungo *S. sclerotiorum* utilizando escala proposta por Venturoso (2012).

Tabela 3 – Resultados médios obtidos a partir da avaliação de severidade de *S. sclerotiorum* utilizando escala proposta por Venturoso (2012). Palmas – TO, 2021.

Doses fosfito (mL.L ⁻¹)	FORMAS DE APLICAÇÃO		
	Via Solo	Via Foliar	Trat. de sementes
Testemunha	1,87 aA	1,64 abA	1,98 abA
1,0	2,10 aA	1,87 aAB	1,49 bcB
2,0	2,17 aA	1,29 bcb	2,21 aA
3,0	1,20 bA	1,39 abcA	1,00 cA
4,0	1,20 bA	1,10 cA	1,20 cA

Fonte: Os autores (2021).

Classificação com letras minúsculas para as colunas e letras maiúsculas para as linhas. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Nas médias da Tabela 3, observa-se que as doses 3,0 e 4,0 mL.L⁻¹ de fosfito, quando aplicadas via solo, não diferiram estatisticamente entre si, apresentando menores médias na severidade do fungo *S. sclerotiorum*, as quais obtiveram menor nota em relação à testemunha e às demais doses.

Para as médias, quanto à forma de aplicação via foliar, pode-se observar que a dose 4,0 mL.L⁻¹ de fosfito utilizado no tratamento de sementes obteve a menor nota (1,10 de severidade) em relação à severidade da doença, diferindo-se estatisticamente e apresentando maior eficiência entre as demais.

Quanto à aplicação de fosfito via tratamento de sementes, constata-se que as doses 3,0 e 4,0 mL.L⁻¹ apresentaram maior eficiência se comparadas à testemunha e às demais doses, obtendo nota de severidade em 1,00 e 1,20, respectivamente.

Os resultados encontrados no presente estudo estão de acordo com os resultados fisiológicos reportados por Jackson *et al.* (2000), o qual verificou que concentrações baixas de

fosfato dentro dos tecidos das plantas ocasionam uma interação com o patógeno no ponto de penetração motivando o mecanismo enzimático de defesa da planta. No entanto, se a concentração de fosfato for alta, ele atua diretamente sobre o patógeno inibindo o seu crescimento antes que este seja capaz de prejudicar a planta, o que foi observado nas doses de 3,0 e 4,0 mL·L⁻¹ de fosfato utilizadas no estudo.

Já Daniel e Guest (2006), estudando o processo de indução de defesa em *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh, após tratamento com fosfatos e inoculação com *Phytophthora palmivora* Rands, verificaram que, quando o fosfato foi aplicado em altas concentrações, este conferiu um efeito tóxico sobre o patógeno. Já quando o fosfato foi aplicado em menores concentrações, resultou em um efeito indireto, proporcionando uma ação de hipersensibilidade no local da lesão pela elicitação de fitoalexinas que operam no metabolismo secundário das plantas.

Trabalhando com o uso de fosfato na indução de resistência na cultura da melancia, Abreu, Martins e Miranda (2020) concluíram que o fosfato, em todas as doses utilizadas (100, 200, 300 e 400 µL/ml) no ensaio *in vitro*, apresentou efeito fungitóxico, inibindo o crescimento micelial do fungo *D. bryoniae*. No ensaio *in situ*, o método de tratamento de sementes obteve os melhores resultados, proporcionando total indução de resistência à *D. bryoniae*, observada a partir da dose de 200 µL/ml de fosfato.

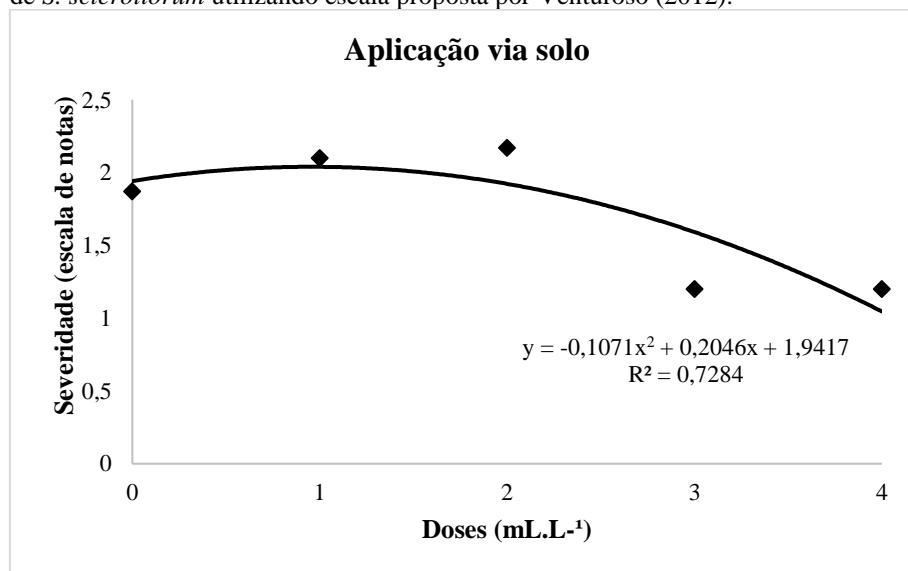
Ainda segundo os autores, o uso de fosfato mostra-se como uma fonte alternativa no controle de doenças fúngicas através da indução de resistência em plantas e da sua ação preventiva e fungitóxica.

As formas de aplicação apresentaram características distintas quando em detrimento das dosagens estudadas, obtendo valores de $R^2 = 0,72$, $R^2 = 0,69$ e $R^2 = 0,42$, conforme as Figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

Na Figura 1, a análise de regressão evidenciou que houve resposta significativa do modelo quadrático.

A cada acréscimo de uma unidade a partir da dosagem de 3 mL·L⁻¹, a severidade do patógeno manteve-se reduzida em 0,6%. Por sua vez, as médias de severidade do patógeno se ajustaram de forma quadrática, apresentando o ponto de máximo ($x = 1,08\%$ de severidade) com a severidade máxima estimada em $y = 2,17\%$.

Figura 1 – Análise de regressão para os valores médios para a aplicação via solo a partir da avaliação de severidade de *S. sclerotiorum* utilizando escala proposta por Venturoso (2012).

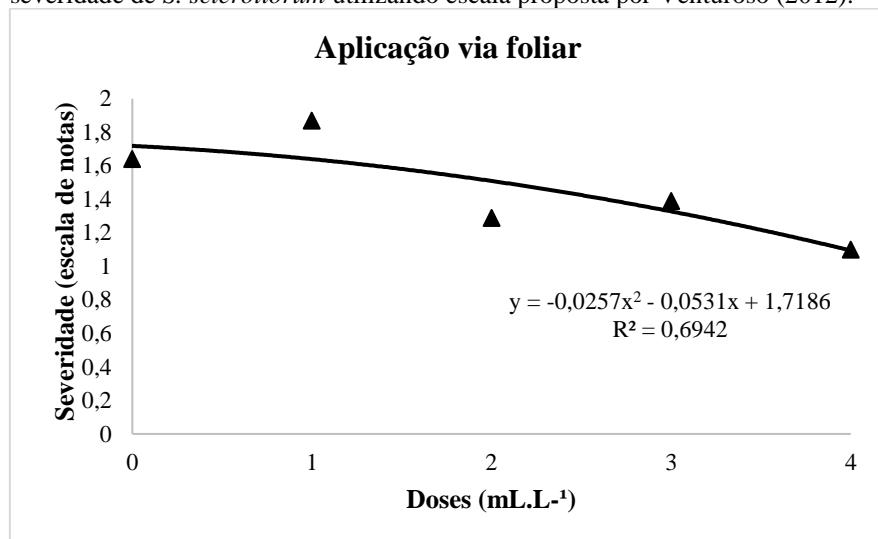


Fonte: Os autores (2021).

Para os valores médios na aplicação via foliar (Figura 2), a análise de regressão evidenciou que houve resposta significativa do modelo quadrático diante do método de aplicação estudado.

Observa-se que a dose 2,0 mL.L⁻¹, quando aplicada via foliar em pós-emergência, apresentou maior eficiência se comparada a outras formas de aplicação. A severidade do patógeno reduziu a 0,64%. Constatata-se que o ajuste quadrático evidencia o ponto de máximo ($x = 0,93\%$ de severidade) com a severidade máxima estimada em $y = 1,07\%$.

Figura 2 – Análise de regressão para os valores médios para a aplicação via foliar a partir da avaliação de severidade de *S. sclerotiorum* utilizando escala proposta por Venturoso (2012).

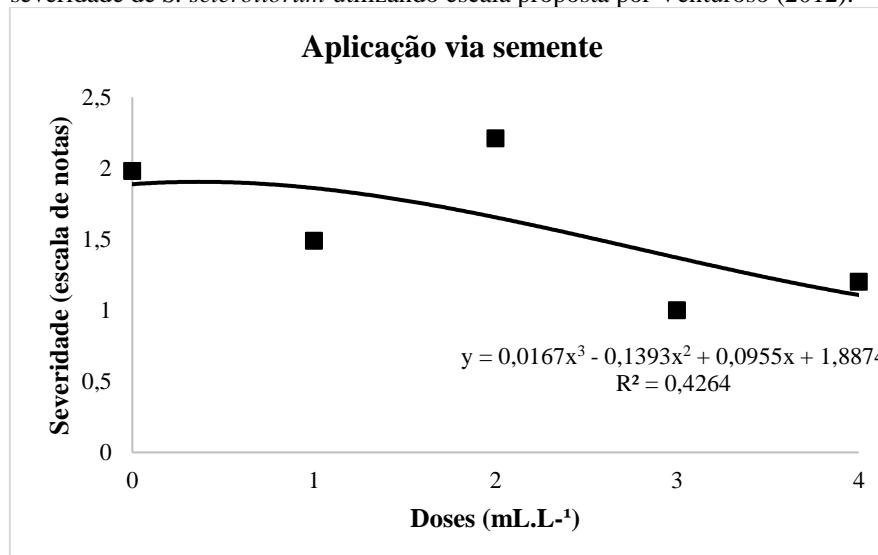


Fonte: Os autores (2021).

Para a aplicação via semente, a análise de regressão ajustou-se a um modelo cúbico, demonstrando interação distinta entre as doses estudadas.

Observa-se que, a cada acréscimo de uma unidade a partir da dosagem 1 mL.L⁻¹, a severidade do patógeno oscila entre 0,72 a 1,21%. Por sua vez, as médias de severidade do patógeno se ajustaram de forma cúbica, apresentando o ponto de máximo ($x = 2,21\%$ de severidade) com a severidade máxima estimada em $y = 1,105\%$.

Figura 3 – Análise de regressão para os valores médios para a aplicação via semente a partir da avaliação de severidade de *S. sclerotiorum* utilizando escala proposta por Venturoso (2012).



Fonte: Os autores (2021).

Ao observar as Figuras 1, 2 e 3, percebe-se que as doses de 3,0 e 4,0 mL.L⁻¹ não apresentaram diferença estatística entre si entre as formas de aplicação abordadas no presente estudo, inquirindo numa maior influência explícita da concentração se comparada à forma de aplicação para tais dosagens.

Tais respostas estão amplamente relacionadas à ativação de diversas enzimas responsivas pela indução de resistência. Costa *et. al.* (2017) verificaram que o uso de fosfito de potássio no controle da antracnose de leguminosas aumenta a atividade de várias enzimas, incluindo quitinase, β -1,3-glucanase e peroxidase, que podem induzir respostas de defesa das plantas.

Ao estudarem o potencial de fosfitos na indução de resistência em soja, Bruzamarello *et. al.* (2018) concluíram que os fosfitos à base de potássio, cobre, manganês e ASM possuem a capacidade de ativar enzimas relacionadas à patogenicidade, demonstrando assim a ativação da resistência sistêmica adquirida em plantas de soja.

Conforme Camochena *et. al.* (2020), em comparação com os tratamentos de controle, os fosfitos podem reduzir doenças e podem ser usados como um método de manejo viável e ecologicamente correto. Além disso, podem ser combinados com outros métodos para reduzir as perdas causadas por *Sclerotinia sclerotiorum*.

Eles proporcionaram diminuição da doença, semelhante ou melhor até do que quando são utilizados fungicidas, como nos trabalhos de Arruda (2014), que constatou um controle de 16,6% utilizando o fungicida fluazinam. Meyer *et. al.* (2011), utilizando fluazinam, tiofanato metílico e carbendazin, obtiveram 81%, 29% e 19% de controle de mofo branco, respectivamente.

Considerações finais

A menor severidade e/ou processo de indução de resistência foi obtida nas maiores dosagens (3,0 e 4,0 mL.L⁻¹) em todas as formas de aplicação do fosfito.

Portanto, o uso do fosfito mostra-se como uma alternativa no processo de indução de resistência da soja ao mofo branco quando aplicado em maiores dosagens.

Referências

ABREU, D. G.; MARTINS, W. S.; MIRANDA, F. F. R. Indução de resistência ao crestartamento gomoso do caule em melancia com uso de fosfito. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 5, n. 1, p. 118-127, 2020.

ARRUDA, J. H. **Ação de agroquímicos no controle de mofo branco em soja**. 2014. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

BRUZAMARELLO, J. *et al.* Potencial de fosfitos na indução da resistência em plantas de soja. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, Ilha Solteira, v. 27, n. 3, p. 263-273, 2018.

CAMOCHENA, R. C. *et al.* Ação de fosfitos de potássio no manejo de mofo branco em soja. **Summa phytopathol.**, Botucatu, v. 46, n. 3, p. 260-266, Sept. 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – 2018/19**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 6, n. 9, 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **11º Levantamento - Safra 2019/20**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 11 dez. 2020.

COSTA, B. H. G. *et al.* Potassium phosphites in the protection of common bean plants against anthracnose and biochemical defence responses. **Journal of phytopathology**, Ithaca, v. 166, n. 2, p. 95-102, 2017.

DANIEL R.: GUEST, D.I. Defence responses induced by potassium phosphonate in Phytophthora palmivora-challenged. *Arabidopsis thaliana*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Michigan, v. 67, p.194-201, 2006.

JACKSON, T. J. *et al.* Action of the fungicide phosphite on Eucalyptus marginata inoculated with Phytophthora cinnamomi. **Plant Pathology**, Hoboken, v.49, p. 147-154, 2000.

McKINNEY, H. H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, St. Paul, v. 26, p. 195-218, 1923.

MEYER, M. C. *et al.* Eficiência de fungicidas no controle de mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), em soja, no estado de Goiás. In: Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil, 32, São Pedro, 2011. **Resumos**. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

NERES RODRIGUES, G. *et al.* Protocolos de eficácia de repelentes de insetos-abordagens teóricas. **InterfacEHS**, v. 15, n. 2, 2020.

PIETROBELLINI, S. R. *et al.* Preparados de plantas bioativas na indução de fitoalexinas e no controle in vitro de fitopatógenos do tomateiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 12, p. 102316-102331, 2020.

PINHO, R. S. C. *et al.* Rizobactérias no controle de *sclerotinia sclerotiorum*, e efeitos na promoção de crescimento de plantas de soja. In: **Colloquium Agrariae**. Presidente Prudente, 2020. p. 110-120. ISSN: 1809-8215.

ROCHA, B. G. R. *et al.* Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 2, p. 91-100, 2018.

VENTUROSO, L. R. **Implantações da inoculação de Sclerotinia scleroiorum em culturas biogenéticas**. 2012. 77 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS, 2012.