
Associação de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja

Association of fungicides in the control of asian soybean rust

Juliane Nicolodi Camera¹, Jana Koefender^{1*}, André Schoffel¹, Diego Pascoal Golle², Jennifer Aline Buhning Mugnol¹, Rafael Pivotto Bortolotto¹, Theodoro Schneider¹, Eduardo Fiorin Flores³

RESUMO

A produtividade da soja é influenciada pelas interações com o ambiente e a ocorrência de doenças causadas por fungos é limitante. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência de controle de *Phakopsora pachyrhizi* em soja com a combinação de fungicidas associados à trifloxistrobina + protioconazol. O experimento foi conduzido com a cultivar M5917 IPRO no delineamento experimental blocos ao acaso, com 8 tratamentos e 4 repetições, em que os tratamentos foram: testemunha, trifloxistrobina + protioconazol e a associação de trifloxistrobina + protioconazol com: oxicloreto de cobre, clorotalonil, tebuconazole + clorotalonil, clorotalonil, difenoconazol + ciproconazol e mancozebe. Procederam-se quatro aplicações iniciadas em V8 e avaliou-se: produtividade, massa de mil grãos, severidade e eficiência de controle. A associação de trifloxistrobina + protioconazol a: oxicloreto de cobre, clorotalonil (associado ou não a protioconazol) e mancozebe são eficientes para a proteção da produtividade, bem como, apresentam alta eficiência de controle a ferrugem asiática.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*; Controle químico; Multisítio; Proteção da produtividade.

ABSTRACT

Soybean productivity is influenced by interactions with the environment and the occurrence of diseases caused by fungi is limiting. The aim of this research was to evaluate the control efficiency of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans with the combination of fungicides associated with trifloxystrobin + prothioconazole. The experiment was carried out with the cultivar M5917 IPRO in a randomized block design, with 8 treatments and 4 repetitions, in which the treatments were: control, trifloxystrobin + prothioconazole and the combination of trifloxystrobin + prothioconazole with: copper oxychloride, chlorothalonil, tebuconazole + chlorothalonil, chlorothalonil, diphenconazole + cyproconazole and mancozeb. Four applications started in V8 were carried out and evaluated: productivity, mass of a thousand grains, severity and efficiency of control. The combination of trifloxystrobin + prothioconazole to: copper oxychloride, chlorothalonil (associated or not with prothioconazole) and mancozebe are efficient for protecting productivity, as well as showing high efficiency in controlling Asian soybean rust.

Keywords: *Phakopsora pachyrhizi*; Chemical control; Multisite; Protection of productivity.

¹ Universidade de Cruz Alta

*E-mail: jkoefender@unicruz.edu.br

² Faculdade Santo Ângelo

³ Universidade Federal de Santa Maria

INTRODUÇÃO

A busca crescente pelo aumento da produção de alimentos para suprir a demanda mundial gera a necessidade da intensificação de cuidados com a proteção dos cultivos agrícolas, com o intuito de reduzir as perdas produtivas causadas por doenças, pelo ataque de insetos-praga e pela competição com plantas invasoras. A cultura da soja é acometida por diversas doenças causadas por fungos que apresentam potencial de redução de produtividade variável, podendo ser severa em condições ideais para o desenvolvimento, infecção e disseminação dos patógenos (Ribeiro et al. 2017).

Nos últimos anos, o aumento dos custos de produção com a proteção dos cultivos foi notável e boa parte deste investimento é reservada para o controle de doenças, sendo que para a soja a principal é a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). A ferrugem asiática é vista como a principal doença da cultura e pode gerar perdas de até 90% na produtividade (Hartman et al. 2015). Entre as estratégias de controle, a aplicação preventiva de fungicidas isolados ou em combinações demonstra ser a maneira mais eficaz de controle e evita infecções severas que podem comprometer o cultivo em caso de controle curativo tardio.

O controle preventivo deve ser adotado quando há a previsão e/ou a presença de esporos do fungo na região e quando as condições climáticas são favoráveis para o desenvolvimento da doença, principalmente quando ocorrem períodos com molhamento foliar superiores a 8 horas (Melching et al. 1989). O monitoramento da presença de esporos e das condições climáticas são ferramentas importantes para a obtenção de alta eficácia de controle. Outro fator importante está relacionado à eficiência do fungicida aplicado e, neste contexto, pesquisas com combinações de princípios ativos são importantes para o direcionamento de recomendações técnicas para técnicos e produtores. Neste contexto, a associação de triazóis e estrobilurinas a fungicidas multissítios busca melhorar a eficiência de controle em condições com redução da sensibilidade de fungos aos princípios ativos (Alves & Juliatti, 2018).

Os principais fungicidas utilizados são dos grupos dos triazóis, estrobilurinas, triazolinthione e carboxamidas que são formulados individualmente ou não, como é o caso do fungicida trifloxistrobina + prothioconazol, amplamente utilizado na cultura da soja. Os fungicidas multissítios, como o oxicloreto de cobre, clorotalonil e mancozebe têm um papel importante no manejo antirresistência para os fungicidas de sítios específicos, pois afetam diferentes pontos metabólicos do fungo e apresentam baixo risco

de resistência (McGrath, 2004). A utilização de fungicidas multissítios aumenta a eficiência no controle da ferrugem asiática (Horta & Albuquerque, 2015).

Porém, o uso incorreto destes grupos químicos vem causando o aumento dos relatos de resistência ou até mesmo a perda da eficiência de controle. Apesar da maioria dos fungicidas recomendados para o controle da ferrugem asiática apresentar eficácia na redução da severidade da doença, há variabilidade na eficiência de controle quando os fungicidas são usados isoladamente ou em combinação. A clareza destas informações é essencial no momento da escolha dos fungicidas que irão compor as aplicações no manejo para o controle de ferrugem asiática (Scherm et al. 2009). Deste modo, a busca por alternativas de combinações de princípios ativos são fundamentais para alcançar níveis satisfatórios de controle da doença, principalmente em safras com alta severidade. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência de controle de *Phakopsora pachyrhizi* em soja com a combinação de fungicidas associados à Trifloxistrobina + Protiocanazol.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em uma lavoura comercial no município de Ibirubá-RS, na safra 2018/2019, sob as coordenadas: latitude: 28°64'18''S e longitude 53°19'17''W e altitude de 416 metros. O clima da região conforme classificação de Köppen é do tipo Cfa (subtropical úmido) (Climate-data.org, 2019). A cultivar de soja utilizada foi a M5917 IPRO que apresenta porte médio, hábito de crescimento indeterminado e pertence ao grupo de maturidade relativa 5.9. A semeadura foi realizada na primeira quinzena de novembro tendo a aveia como cultura antecessora. A densidade foi de 12 sementes por metro linear e 50 cm de espaçamento entre linhas.

O delineamento experimental utilizado foi o blocos ao acaso, com 8 tratamentos e 4 repetições. As unidades experimentais foram de 2,5 m de largura e 5 m de comprimento. Os fungicidas foram aplicados nas suas respectivas doses (Tabela 1) com equipamento costal pressurizado por CO₂, a partir do estágio vegetativo V8 da escala fenológica de Fehr & Caviness para a cultura da soja (1977), com intervalo entre as aplicações de 15 dias e volume de calda de 100 L ha⁻¹. As aplicações foram realizadas às 17 horas, 75% de umidade e velocidade do vento de 13 km h⁻¹.

Tabela 1 - Nome comercial, grupo químico e dose dos fungicidas utilizados para o controle da ferrugem asiática na cultura da soja.

Grupo químico	Dose	
	(g i.a ha ⁻¹) ¹	(L ou Kg p.c ha ⁻¹) ²
(Trifloxistrobina + Protioconazol) + Oxiclureto de Cobre	150 + 588	300 ml/ha + 100 ml/ha
(Trifloxistrobina + Protioconazol) + Clorotalonil	150 + 720	300 ml/ha + 1,5 l/ha
(Trifloxistrobina + Protioconazol) + (Tebuconazole + Clorotalonil)	150 + 50	300 ml/ha + 2 l/ha
(Trifloxistrobina + Protioconazol) + Clorotalonil	150 + 500	300 ml/ha + 2,0 l/ha
(Trifloxistrobina + Protioconazol) + (Difenoconazol + Ciproconazol)	150 + 250	300 ml/ha + 300 ml/ha
(Trifloxistrobina + Protioconazol) + Mancozebe	150 + 750	300 ml/ha + 1,5 kg/ha
(Trifloxistrobina + Protioconazol)	150	300 ml/ha

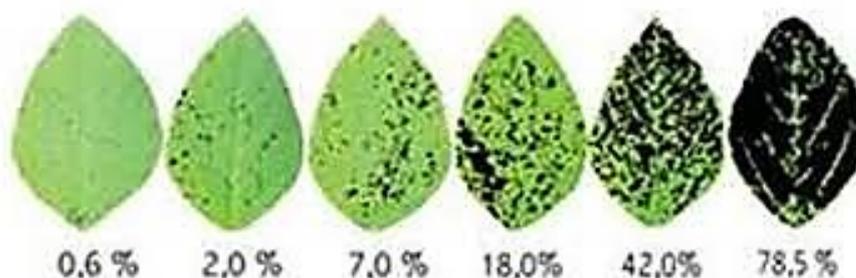
¹ Ingrediente ativo ² produto comercial.

Fonte: Criada pelos autores.

A colheita foi feita manualmente, coletando duas linhas centrais de três metros de comprimento em cada parcela. Após foi realizada a trilha para a obtenção da produtividade de grãos. Os grãos foram armazenados em sacos de papel, verificada a umidade e corrigida para 13%. Após, procedeu-se a pesagem em balança digital de precisão com resolução de 0,01 grama com posterior cálculo da produtividade expressa em (kg ha⁻¹). Também foi realizada a pesagem para a verificação da massa de mil grãos (g).

Com o auxílio da escala diagramática (Figura 1), foi realizada a avaliação da severidade da ferrugem asiática da soja após a terceira aplicação, coletando-se 10 trifólios no terço médio das plantas.

Figura 1 - Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem asiática na soja.



Fonte: Godoy et al. (2006).

Para determinar a eficiência agrônômica das parcelas tratadas com os fungicidas em relação ao tratamento testemunha, adotou-se a fórmula de Abbott (1925), ou seja, eficiência (E%) = $t-p/t \times 100$ onde t é a testemunha e p é a parcela tratada, podendo assim, elaborar a AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença). Os dados foram submetidos à análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, em 5% de probabilidade com auxílio do programa Assistat.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observada eficiência de todas as combinações de fungicidas associados com trifloxistrobina + protioconazol para a proteção da produtividade na cultura da soja a partir do estágio V8 em intervalos de 15 dias entre aplicações (Tabela 1). As médias produtivas nos tratamentos variaram de 3229,62 e 3356,48 kg ha⁻¹ nas combinações de trifloxistrobina + protioconazol com os fungicidas tebuconazole + clorotalonil e difenoconazol + ciproconazol, respectivamente. A testemunha, que diferiu de todas as combinações para a produtividade e para a massa de mil grãos apresentou média produtiva de 2150,92 kg ha⁻¹, ou seja, a ausência da aplicação de fungicidas limitou o potencial produtivo e apresentou média inferior aproximada de 36% em relação ao maior valor absoluto de produtividade, com decréscimo significativo, inclusive, da massa de mil grãos.

Além da aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem asiática, o manejo integrado com técnicas de cultivo realizadas no período recomendado, como evitar semeaduras tardias, bem como, o não uso de cultivares de ciclo longo principalmente em safras com alta incidência de inoculo são práticas que contribuem para o sucesso do controle (Hu & Wiatrak, 2012). A realização de vistorias e do rápido diagnóstico em condições propícias para o desenvolvimento do inoculo também são de extrema importância para evitar perdas produtivas (Grigolli, 2015).

Tabela 2 - Produtividade, massa de mil grãos, severidade e eficiência de controle de fungicidas aplicados para controle da ferrugem asiática da soja.

Tratamentos	Grupo químico	Produtividade (Kg ha ⁻¹)	PMS (g)	Severidade (%)	Eficiência de controle (%)
1	(Trifloxistrobina + Protioconazol) +	3249,38a ¹	132,83 a	6,07 a	78

	Oxicloreto de Cobre				
2	(Trifloxistrobina + Protioconazol) + Clorotalonil	3337,96 a	134,4 a	4,45 a	84
3	(Trifloxistrobina + Protioconazol) + (Tebuconazole + Clorotalonil)	3229,62 a	131,0 a	3,12 a	88
4	(Trifloxistrobina + Protioconazol) + Clorotalonil	3273,14 a	136,6 a	3,87 a	86
5	(Trifloxistrobina + Protioconazol) + (Difenoconazol + Ciproconazol)	3356,48 a	130,82 a	4,77 a	82
6	(Trifloxistrobina + Protioconazol) + Mancozebe	3324,99 a	131,77 a	4,4 a	84
7	(Trifloxistrobina + Protioconazol)	3280,24 a	127,47 a	8,8 b	68
Testemunha	-	2150,92 b	107,77 b	27,9 c	-
CV (%)		8,43	4,33	11,45	-

¹Médias não seguidas de mesma letra na coluna diferem pelo teste de Tukey, em 5% de probabilidade.

Fonte: Criada pelos autores.

Para a severidade da ferrugem asiática na soja, a testemunha apresentou percentual de 27,9% e indicou a presença do inoculo e também serviu de limiar para a comparação com os demais tratamentos. Para esta variável, o tratamento com a aplicação de trifloxistrobina + protioconazol de maneira isolada apresentou percentual de severidade superior aos demais tratamentos (8,8%), estabelecendo que a sua aplicação individualizada apresentou eficiência reduzida no manejo da doença. A utilização de misturas de triazóis e estrobilurinas foi adotada como uma estratégia para evitar a resistência devido à ação da estrobilurina sobre indivíduos resistentes e sensíveis aos triazóis, porém, isso desencadeou a resistência aos fungicidas do grupo das estrobilurinas e o controle associado destes grupos químicos em casos mais severos começou a apresentar eficiência reduzida para o controle da ferrugem (Juliatti et al. 2015).

Vale salientar que nesta pesquisa as aplicações dos tratamentos foram repetidas sequencialmente para proporcionar a avaliação da eficiência de controle sobre a doença e neste tipo de manejo o uso de trifloxistrobina + protioconazol não demonstrou alta eficácia, porém, é uma ferramenta de extrema importância no manejo de controle de doenças com a variação do uso de ingredientes ativos. A perda de eficiência dos

fungicidas no controle da ferrugem da soja está diretamente relacionada com o aumento da resistência dos fungos e isso ocorre de forma mais intensa em patógenos com alta produção de esporos e de rápida e fácil disseminação (Godoy et al. 2020).

Os demais tratamentos que constaram da associação de grupos químicos à trifloxistrobina + protioconazol apresentaram menores percentuais de severidade, que variaram de 3,12 a 6,07% nas aplicações com adição de tebuconazole + clorotalonil e oxicloreto de cobre, respectivamente. Deste modo, a associação de grupos químicos demonstrou, de maneira geral, maior eficiência para a redução da severidade da ferrugem asiática da soja. Já para a eficiência de controle, a combinação de tebuconazole + clorotalonil com trifloxistrobina + protioconazol apresentou a maior eficiência de controle (88%), o que corrobora com o observado para o percentual de severidade onde esta combinação apresentou o menor percentual em valor absoluto. Comparativamente, o uso isolado de trifloxistrobina + protioconazol apresentou eficiência de 68% no controle da ferrugem asiática, resultando em 20% de perda na eficiência de controle, porém, esta diferença não ficou evidenciada na produtividade de grãos e não ocasionou maiores repercussões em relação ao rendimento.

O uso de fungicidas multissítio, associados à triazóis e estrobilurinas são estratégias importantes no manejo de doenças. Apesar de existir variabilidade da sensibilidade das cultivares de soja ao patógeno (Meneghetti et al. 2010), nesta pesquisa ficou evidenciado que a associação de multissítios (clorotalonil, mancozebe e o oxicloreto de cobre) em misturas apresenta eficácia no controle da ferrugem asiática, com severidade observada inferior a 6,1%. Dentre os multissítios, o mancozebe é indicado principalmente para o controle de doenças causadas por patógenos que adquiriram resistência aos fungicidas sistêmicos e é amplamente associado com outros grupos químicos para incrementar a capacidade de proteção da produtividade (Horta & Albuquerque, 2015).

A associação de trifloxistrobina + protioconazol com o mancozebe apresentou resultados satisfatórios, tanto em relação às variáveis produtivas como de controle da doença, atingindo 84% de eficiência. Fungicidas de ação multissítio são capazes de fornecer ações protetoras e preventivas, porém, apresentam baixa mobilidade na superfície foliar, o que exige que a distribuição da calda seja uniforme e que falhas de aplicação podem ocasionar redução da eficácia. Apesar disso, (Silva et al. 2015) destacam que apesar destas características, o menor volume de mancozebe aplicado apresentou controle satisfatório, indicando que apesar de não apresentar alta tenacidade, foi capaz de

impedir ou minimizar o desenvolvimento da doença mesmo em condições que o produto não chegou na quantidade e na distribuição adequada ao alvo.

Segundo Stefanello (2017), a associação de mancozebe com triazol e estrobilurina promove maior período residual de controle e, conseqüentemente, diminui a severidade da doença. Este resultado está de acordo com pesquisas conduzidas por Biazotto et al. (2016), Paulo Filho et al. (2016) e Oliveira et al. (2016) nos estados de Paraná, São Paulo e Goiás, em que os autores verificaram que a associação de mancozebe com azoxistrobina + ciproconazol reduziu significativamente a severidade da ferrugem asiática da soja.

A retomada de pesquisas e uso de fungicidas multissítios na cultura da soja provem dos primeiros indícios de resistência parcial as estrobilurinas em isolados de *P. pachyrhizi* no Brasil (Klosowski et al. 2016). Godoy et al. (2019) realizando ensaios cooperativos no estudo dos fungicidas multissítios, visando o controle da ferrugem asiática da soja observaram reduzida severidade em tratamentos com a presença de mancozebe e clorotalonil em associação à metominostrobin + tebuconazol. Juliatti et al. (2017) recomendam que os multissítios, como o clorotalonil e mancozebe, podem ser usados no planejamento do manejo de resistência em associação a estrobilurinas, triazóis e carboxamidas em concentrações acima de 100 ppm.

CONCLUSÃO

A associação de trifloxistrobina + protioconazol a oxicloreto de cobre, clorotalonil (associado ou não a protioconazol) e mancozebe são eficientes para a proteção de varáveis produtivos da cultura da soja, bem como, apresentam alta eficiência de controle a ferrugem asiática.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, p. 265-267, 1925.

ALVES, V. M., JULIATTI, F. C. Fungicides in the management of soybean rust, physiological processes and crop productivity. **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 3, p. 245-252, 2018.

BIAZOTTO, F. O., PESTANA, J. R., JUNIOR, J. P., LIMA, M. A. V., ALMEIDA, L. F. Z., CUNHA, B. A., SILVERIO, M. A. Comparação de fungicidas DMIs e QoIs associados a fungicidas protetores no controle da ferrugem asiática da soja. In: **Congresso Brasileiro de Fitopatologia**. Maceió. Tratamento químico: Anais. Maceió, AL: Universidade Federal de Alagoas, 2016.

FEHR, W. R., CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, Yowa: Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, n. 80)

GODOY, C. V., SEIXAS, C. D. S., MEYER, M. C., SOARES, R. M. **Ferrugem-asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência**. Embrapa soja, documentos 428. 39 p, 2020.

GODOY, C. V., (...), VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas multissítios no controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2018/19: Resultados sumarizados dos experimentos cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Circular técnica, 151). 9 p.

GODOY, C. V., KOGA, L. J., CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.

HARTMAN, G. L., SIKORA, E. J., RUPE, J. C. Rust. In: HARTMAN, G.L.; RUPE, J.C.; SIKORA, E.J.; DOMIER, L.L.; DAVIS, J.A.; STEFFEY, K.L. (Ed.). **Compendium of soybean diseases and pests**. 5th ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 2015. p.56-58.

HORTA, A., ALBUQUERQUE, L. Um novo fungicida protetor, com ação multissítio, é apontado por pesquisadores como alternativa para reduzir o problema de resistência de fungos. [S.l.]: **Notícias agrícolas**, 2015.

HU, M., WIATRACK, P. Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality: Review. **Agronomy Journal**, v. 104, p. 785-790, 2012.

JULIATTI, F. C., POLLONI, F. C., MORAIS, T. P., MORAIS, T. P., ZACARIAS, N. R. S., SILVA, E. A., JULIATTI, B. C. M. Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* populations to dithiocarbamate, chloronitrile, triazole, strobilurin, and carboxamide fungicides. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 4, p. 933-943, 2017.

JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; BALARDIN, R. S., VALE, F. X. R. Ferrugem da soja – epidemiologia e manejo para uma doença reemergente. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 13, 2015.

KLOSOWSKI, A. C., MAY DE MIO, L. L., MIESSNER, S., RODRIGUES, R., STAMMLER, G. Detection of the F129L mutation in the cytochrome b gene in *Phakopsora pachyrhizi*. **Pest Management Science**, v. 72, p. 1211-1215, 2016.

MCGRATH, M. T. **What are fungicides? The Plant Health Instructor**. 2004. Disponível em: <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/topc/Pages/Fungicides.aspx#:~:text=McGrath%2C%20M.T.%202004.,%2D2004%2D0825%2D01.&text=A%20fungicide%20is%20a%20specific,the%20fungus%20causing%20the%20disease>.

MELCHING, J. S., DOWLER, W. M., KOOGLE, D. L.; ROYER, M. H. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v. 73, p. 117-122, 1989.

MENEGHETTI, R. C., BALARDIN, R. S., CORTE, G. D., FAVERA, D. D., DEBONA, D. Avaliação da ativação de defesa em soja contra *Phakopsora pachyrhizi* em condições controladas. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 823-829, 2010.

OLIVEIRA, F. M., CAMPOS, H. D., RIBEIRO, L. M., LANDIM, A. B., SILVA, R. S., DIAS, C. H. G. **Eficácia de fungicidas protetores em sequencial no controle da ferrugem asiática na cultura da soja**. Congresso Brasileiro de Fitopatologia. Tratamento químico: Anais. Maceió, AL: Universidade Federal de Alagoas, 2016.

PAULO FILHO, A. C. N., BIAZOTTO, F. O., PESTANA, J. R., JUNIOR, J. P., LIMA, M. A. V., ALMEIDA, L. F. Z., CUNHA, B. A. **Systemic and protective fungicides on control of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*)**. Congresso Brasileiro de Fitopatologia. Tratamento químico: Anais. Maceió, AL: Universidade Federal de Alagoas, 2016.

RIBEIRO, F. C., COLOMBO, G. A., CARVALHO, E. V., PELÚZIO, J. M., ERASMO, E. A. L. **Controle químico de mancha-alvo da soja (*Corynespora cassiicola*) no cerrado tocantinense – Brasil**. Gurupi, Universidade Federal do Tocantins, 2017. p. 26-36.

SCHERM, H., CHRISTIANO, R. S. C., ESKER, P. D., DEL PONTE, E. M., GODOY, C. V. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**, v. 28, n. 9, p. 774-782, 2009.

SILVA, L. H. C. P., CAMPOS, H. D., SILVA, J. R. C., REIS, E. M. Control of asian soybean rust with mancozeb, a multi-site fungicide. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 1, p. 64 - 67, 2015.

STEFANELLO, M. T. (2017). **Mancozebe influencia a persistência de fungicidas inibidores da desmetilação e inibidores da quinona oxidase em cultivares de soja**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.