

USO DE ÁCIDO SALICÍLICO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA NA SOJA CONTRA A FERRUGEM ASIÁTICA

João Henrique Castaldo^{1*}
Leonardo Sassani²

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do ácido salicílico, como indutor de resistência, no controle da ferrugem asiática da soja. Os tratamentos avaliados foram: Ácido salicílico (0,1% e 0,01% v v⁻¹), fungicidas comerciais Cobox e Ativum e um tratamento testemunha, sem controle. O uso do ácido salicílico promoveu redução da incidência da ferrugem asiática da soja. O ácido salicílico 0,1% v v⁻¹ promoveu maior controle da ferrugem asiática e produtividade de soja que o tratamento testemunha, ao final do ciclo. O fungicida comercial Ativum promoveu o melhor controle da ferrugem asiática da soja no estágio fenológico R5, o que proporcionou a maior produtividade observada no experimento.

Palavras-chaves: *Glycine max*, Indução de resistência, *Phakopsora pachyrhizi*.

Abstract: The aim of this work was to evaluate the efficiency of salicylic acid, as a resistance inducer, in the control of soybean rust. The evaluated treatments were: Salicylic acid (0.1% and 0.01% v v⁻¹), commercial fungicides Cobox and Ativum and a control treatment. The use of salicylic acid reduced the incidence of soybean rust. Salicylic acid 0.1% v v⁻¹ promoted greater control of soybean rust and grain yield than the control treatment, at the end of the crop cycle. The commercial fungicide Ativum provided the best control of Asian soybean rust at the R5 phenological stage, which provided the highest yield observed in the experiment.

Key-words: *Glycine max*, Induced resistance, *Phakopsora pachyrhizi*.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja ocupa a maior área agrícola cultivada no Brasil, com 40,921 milhões de hectares, que produziram 123,829 milhões de toneladas, na safra 21/22 (CONAB, 2022), dando ao Brasil, o título de maior produtor global do grão (USDA, 2022).

O arcabouço teórico que dá suporte ao pacote tecnológico da cultura é vasto e profundo, com informações sobre as ameaças e oportunidades que ocorrem durante o cultivo, dentre as ameaças à sanidade e produtividade da

cultura (Matsuo et al., 2022), a ferrugem asiática da soja, ainda é a principal doença que atinge a produção dos grãos de soja no Brasil e a manutenção do conhecimento a respeito dos seus métodos de controle atualizados, é salutar para o bom desenvolvimento da agricultura nacional, dada a importância da cultura para o país.

O fungo *Phakopsora pachyrhizi* é o agente causal da doença que tem como sintomas, o surgimento de lesões de coloração bronzeada com duas a cinco urédias e esporulação abundante ou formando lesões pardo-

¹Universidade Estadual de Maringá-UEM, Umuarama, PR. Docente do curso de Agronomia.

*e-mail para correspondência: jhcastaldo2@uem.br

² Universidade Estadual de Maringá-UEM, Umuarama, PR. Egresso do curso de Agronomia.

avermelhadas, com nenhuma a duas urédias e esporulação esparsa” (Anahosur & Waller, 1976).

As perdas de produtividade, que podem chegar a mais de 80% dos grãos da cultura e a perda de eficiência dos métodos de controle usuais são fatores alarmantes para a produção de soja no país (Godoy et al., 2006; Godoy et al., 2022).

Os tratamentos mais utilizados atualmente no Brasil, envolvem o uso de fungicidas químicos, dos grupos dos triazóis, das carboxamidas e das estrobilurinas, além de alguns incorporarem o Mancozebe em suas formulações (Godoy et al., 2022). De ação protetiva, preventiva ou curativa, estes fungicidas agem somente na instalação, desenvolvimento e redução dos inóculos da doença e não apresentam uma proteção fisiológica pela cultura, pois mesmo os que são translocados pela planta, protegem apenas as porções superiores ao local de contato com as folhas (Miyamoto et al., 2010; Singh e Sahota, 2018; Silva Junior & Behlau, 2018)

Uma alternativa ao uso de fungicidas químicos no controle da ferrugem a ser considerada é o uso de indutores de resistência, com aplicação de substâncias que ativam os sistemas de defesa da planta, que podem sem manifestar através de agentes elicitores (bióticos ou abióticos), que atuam na síntese de compostos tóxicos ao patógeno ou mesmo na

formação de estruturas físicas que dificultam a fixação do fungo nas estruturas da planta (Bürger e Chory, 2019; Li et al., 2019).

Um exemplo de produtos com este potencial é o ácido salicílico (A.S.) e o seu composto semelhante, mas sintético, o acibenzolar S-metil (Barros, 2011). O ácido salicílico é um composto presente nas plantas, em que habitualmente, seu acúmulo ocorre em locais de infecções e a não ser que a planta seja uma acumuladora de silício (Souri et al., 2021), esta resistência sistêmica é fisiologicamente impossível, demonstrando a importância desse composto em situações de stress metabólicos. (Rocha et al., 2000).

Assim sendo, o trabalho tem como objetivo avaliar o uso do ácido salicílico como promotor de defesa vegetal atuando no controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e comparar a indução de resistência do ácido salicílico com fungicidas químicos registrados para a cultura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo no Noroeste do estado do Paraná, latitude - 23°81'76"S, longitude -53°26'75"O, altitude 447 m. A semeadura da cultivar M 6210 IPRO, foi realizada no final de Outubro de 2019 em uma área de 1.200m², em que após a emergência das plantas, delimitou-se três blocos com seis parcelas de 4x3 metros (comprimento x largura),

na busca pela constituição de área comercial e possibilitando o desenvolvimento do fungo na mesma. Utilizou-se densidade de 14 sementes por metro, espaçamento entre linhas de 45cm e profundidade de semeadura de 3,5 cm no sistema de plantio direto sobre a palhada de aveia (*Avena sativa*).

Foram avaliados seis tratamentos, dois deles com concentrações diferentes de ácido salicílico, no qual a primeira concentração foi de 0,01% de A.S. diluído em 10 ml de álcool 70° e completada a solução para 1 litro. A segunda concentração foi de 0,1% de A.S, que demandou 30 ml de álcool 70° para 1 litro de solução, tornando possível a completa diluição do produto na calda. Ambos os tratamentos foram aplicados separadamente nas respectivas parcelas da cultura da soja no estádio V2 com volume de calda de 277 L há⁻¹. Mais três tratamentos com aplicação de fungicidas químicos, um utilizou Cobox (Oxicloreto de cobre 870 g kg⁻¹) 2,0 kg p.c. ha⁻¹ com volume de calda de 200 L ha⁻¹ no estádio V5, outro recebeu a aplicação de Unizeb Gold (Mancozebe 750 g kg⁻¹) 2,5 kg p.c. ha⁻¹ com volume de calda de 150 L ha⁻¹ também em V5 e o último tratamento recebeu a aplicação do fungicida comercial Ativum® (Piraclostrobina 81 g L⁻¹+ Fluxapiraxade 50 g L⁻¹ + Epoxiconazol 50 g L⁻¹) 1.000 ml p.c. ha⁻¹ com volume de calda 150 L ha⁻¹, no estádio R1, além de um tratamento testemunha, sem aplicação de

qualquer produto para controle da ferrugem asiática.

As aplicações fungicidas foram realizadas com pulverizador costal de pressão constante à base de CO₂, equipado com barra de 6 pontas tipo leque XR-110.02.

As variáveis analisadas foram o percentual de incidência de ferrugem asiática nas folhas de soja e a produtividade de grãos, na qual a avaliação da incidência da doença foi realizada com o processamento de imagens de 10 folhas em cada parcela referente a aplicação do ácido, 1 dia após a aplicação, 3 dias após a aplicação e 8 dias após a aplicação. Estas imagens foram analisadas com o uso do software AF-SOFT, que permitiu medir e quantificar a área foliar com incidência dos sintomas da ferrugem asiática. A produtividade de grãos foi analisada colhendo-se os 5 m² centrais de cada parcela e após a secagem dos grãos (14% m v⁻¹), pesados em balança de precisão 0,01g.

Posteriormente, em estádio R5, foi realizada uma avaliação de todos os tratamentos, também através do AF software, foram coletadas 10 folhas de cada parcela, escolhidas aleatoriamente, permitindo assim a comparação de incidência do patógeno em todos os tratamentos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificação da interação entre os fatores e os efeitos de cada fator isoladamente, quando significativos, os

tratamentos foram comparados pelos modelos de regressão linear e não linear, para as concentrações do ácido e datas de avaliação; e pelo teste Tukey $p < 0,05$ para os fungicidas, utilizando o software MatLab.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos avaliados influenciaram significativamente a ocorrência e proteção das plantas de soja quanto ao ataque do fungo *Phakopsora pachyrhizi* e o desenvolvimento da

ferrugem asiática da soja nas folhas de soja, resultando em diferentes Produtividades de grãos da cultura ao final do ciclo.

O ácido salicílico promoveu redução na incidência da ferrugem asiática da soja nos dias que sucederam sua aplicação (Figura 1). À medida em que a concentração do ácido aplicado foi elevada, houve potencialização da redução da incidência da doença na cultura. A menor concentração utilizada promoveu proteção com períodos menores do que a maior concentração avaliada.

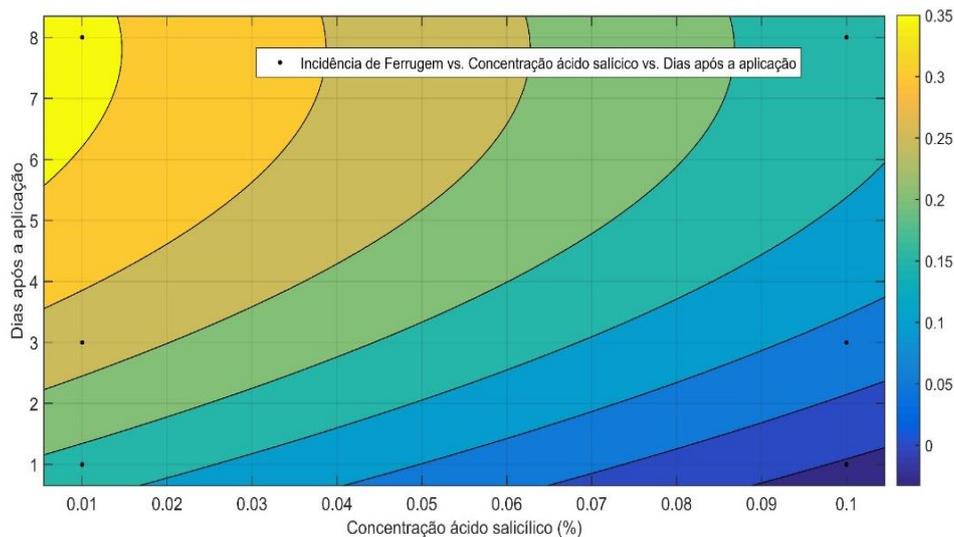


Figura 1. Avaliação da eficiência do ácido salicílico no controle da ferrugem asiática na soja após sua aplicação. Equação: $f(x,y) = 0.1475 + -2.08x + 0.05972y + -0.003826y^2$. $R^2 = 0,34$

Os resultados observados sugerem que o aumento de A.S. nas plantas de soja, de alguma forma, ativou ferramentas de proteção das plantas, que dificultaram a infecção e proliferação do fungo nas folhas. Park et al. (2007) sugere que o A.S. que é armazenado nos vacúolos e se torna passível de metilação, forma ao final da rota, o salicilato de metila ($C_8H_8O_3$),

que serve como sinal para ativação da indução de resistências naturais das plantas, elevando sua proteção contra ataques de fungos.

A queda na proteção observada neste experimento pode ser explicada pela simples degradação e/ou compartimentalização do ácido salicílico que fora aplicado via folhas, mas também, pois quando em altas concentrações do

A.S., o aparato bioquímico das plantas tende a inibir a síntese e a sinalização promovida pelos Jasmonatos e pelo Etileno, que são compostos altamente relacionados à ativação da resistência natural da plantas (Li et al., 2019).

Ou seja, o uso do A.S. no presente experimento demonstrou que existe potencial para seu uso como ferramenta adicional no controle da ferrugem asiática da soja, no entanto, a duração deste efeito demanda ajustes finos na introdução desta ferramenta no pacote tecnológico dos produtores, em que um maior número de pulverizações e/ou concentrações podem elevar o período de resistência das plantas.

Na comparação com os fungicidas comerciais registrados para a cultura no período de enchimento de grãos (estádio R5), o A.S. promoveu controle da doença menor que a mistura comercial de Triazol, Carboxamida e Estrobilurina (Ativum), sendo que o fungicida

comercial obteve 53% menor incidência que a maior concentração do A.S. avaliada (Tabela 2).

No entanto, a maior concentração do A.S. proporcionou controle semelhante ao fungicida protetivo com Mancozebe (Unizeb Gold) e a menor concentração do A.S. obteve resultado semelhante ao outro fungicida protetivo, este composto por Cobre (Cobox), estes dois se equipararam à testemunha, sem qualquer medida de controle.

Em razão da modalidade do experimento e da única aplicação dos fungicidas comerciais, os percentuais de incidência no estágio R5 ainda foram elevados, no entanto, o objetivo do trabalho é investigar a eficiência da indução de resistência promovida pelo A.S. na cultura, o que ficou demonstrado, dado que o A.S. promoveu eficiência semelhante aos fungicidas protetivos, que tem o mesmo objetivo no controle da doença antes mesmo que ela se instale nas plantas.

Tabela 2 – Incidência de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), no estágio fenológico R5, submetida a diferentes tratamentos de controle do patógeno.

Tratamento	Incidência de ferrugem asiática da soja em folhas (% folha com sintomas no estágio R5)
Ativum	32,03 c
Unizeb Gold	53,70 bc
0,1% Ácido salicílico	68,53 b
0,01% Ácido salicílico	79,73 ab
Cobox	67,76 a
Testemunha	82,40 a
C.V. (%)	21,01

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CV- Coeficiente de variação. DMS Tukey: 5,28.

Em função da ocorrência de ferrugem asiática no período crítico para produtividade da cultura (estádio R5), demonstrada na Tabela 2, a produtividade de grãos da cultura foi significativamente afetada, com reduções que

chegaram a quase 80%, na testemunha sem tratamento, mas que no tratamento com somente uma aplicação da mistura de fungicidas, obteve média superior à 50 sacas de 60 kg ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3 – Produtividade de grãos de soja (sacos de 60 kg ha⁻¹) em função dos tratamentos aplicados para controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*).

Tratamentos	Produtividade de grãos (sc 60 kg ha ⁻¹)	Produtividade relativa (% sob o melhor tratamento)
Testemunha	12,07 c	22,45
Cobox	19,56 c	36,38
0,01 % A.S	29,36 b	54,61
0,1% A.S	36,05 b	67,05
Unizeb Gold	38,71 b	72,00
Ativum	53,76 a	-
CV (%)	21,71	-

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); CV- Coeficiente de variação.

O uso do A.S. possibilitou produtividades superiores à testemunha somente na concentração de 0,1%. A concentração 0,01% não foi suficiente para promover produtividade distinta da testemunha. Esta diferença entre as concentrações pode ser explicada pelos resultados observados logo após sua aplicação (Figura 1), em que a menor concentração utilizada proporcionou período de resistência induzida extremamente curto.

O uso do Mancozebe e do Oxicloreto de cobre proporcionou proteção contra a ferrugem asiática da soja suficiente para redução de produtividade entre 8 e 16%, metade do que a testemunha reduziu, de 31%, em relação ao melhor tratamento, com a mistura de

trifloxistrobina + protioconazol (Godoy et al., 2015).

Já em relação ao uso do ácido salicílico, mostrou-se eficiente também no controle da ferrugem quando relacionamos com a produtividade, resultado presenciado em outros trabalhos, que debatem em relação a dificuldade de estimar a dose correta a ser utilizada para que o efeito de indução de resistência seja ainda maior, mas que comprovam o efeito positivo do A.S no controle de patógenos pela indução de resistência (Soares, 2016). A produtividade inferior em relação ao A.S pode ser explicada também pela alteração de metabolismo que ocorre na planta quando sofre a indução de defesa, a mesma direciona seus recursos para se proteger, fato que diminui a sua produtividade já

que seu foco principal passa a ser o combate ao patógeno (Reitz, et al., 2015).

As aplicações de Cobox® não apresentaram efeitos positivo na produtividade relacionando o mesmo ao controle da ferrugem asiática, não diferenciando-se estatisticamente da testemunha. Diferentemente do bom resultado que o produto apresenta no controle da ferrugem do café, mostrando assim a individualidade de cada patógeno (Almeida, 1980). A testemunha por não sofrer nenhum tipo de tratamento sofreu maior ataque do patógeno e teve a menor produtividade dentre todos os tratamentos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concentração de 0,1% do ácido salicílico apresentou resultado superior no controle da ferrugem asiática em relação a dosagem 0,01% de A.S.

A efetividade de controle da doença pelo uso da dose 0,1% de A.S foi menor que o produto comercial Ativum®, mas se equiparou ao produto comercial Unizeb Gold® e da dose 0,01% de A.S.

A produtividade de grãos de soja foi maior com o uso do produto comercial Ativum® e o uso de ácido salicílico nas concentrações de 0,1% de A.S e 0,01%, produziu mais grãos que a testemunha sem controle.

O ácido salicílico apresentou resultados indicando que a sua introdução em um protocolo

com produtos comerciais no controle da ferrugem asiática pode auxiliar no combate ao patógeno causador da doença.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAHOSUR, K. H.; WALLER, J. M. *Phakopsora pachyrhizi*. CMI DESCRIPTIONS OF PATHOGENIC FUNGI AND BACTERIA. v. 589, n. 9, p. 1-9, 1976.

BARROS, R. Estudo sobre a aplicação foliar de acibenzolar-s-metil para indução de resistência à ferrugem asiática em soja e cercosporiose em milho **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, n. 4, p. 519-528, 2011.

BÜRGER, M.; CHORY, J. Stressed Out About Hormones: How Plants Orchestrate Immunity. **Cell Host & Microbe**. v. 26, n. 2, p. 162-172, 2019.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira. Grãos – 10º levantamento 2022**. CONAB: Brasília. 2022. 88p.

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

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; ANDRADE JUNIOR, E. R.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; NUNES JUNIOR, J.; SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; MADALOSSO, M.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. **Eficiência de fungicidas multissítios e fertilizantes no controle da ferrugem asiática da soja**,

Phakopsora pachyrhizi, na safra 2014/15: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: EMBRAPA, 2015. 7p.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; TOMEN, A.; MOCHKO, A. C. R.; DIAS, A. R.; MUHL, A.; SCHIPANSKI, C. A.; SERCILOTO, C. M.; CHAGAS, D. F.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; ARAUJO JUNIOR, I. P.; GALDINO, J. V.; ROY, J. M. T.; BONANI, J. C.; GRIGOLLI, J. F. J.; KUDLAWIEC, K.; NAVARINI, L.; BELUFI, L. M. de R.; SILVA, L. H. C. P. da; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; GOUSSAIN JUNIOR, M. M.; GARBIATE, M. V.; SENGER, M.; MÜLLER, M. A.; DEBORTOLI, M. P.; MARTINS, M. C.; TORMEN, N. R. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, Phakopsora pachyrhizi, na safra 2021/2022: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** EMBRAPA SOJA: Londrina, 2022, 28p.

LI, N.; HAN, X.; FENG, D.; YUAN, D.; HUANG, L.-J. Signaling Crosstalk between Salicylic Acid and Ethylene/Jasmonate in Plant Defense: Do We Understand What They Are Whispering? **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 3, p. 671-686, 2019.

MATSUO, É.; LOPES, E. A.; SEDIYAMA, T. Manejo de doenças. In: Silva, F.; Borém, A.; Sedyama, T.; Câmara, G. **SOJA – Do plantio à colheita**. 2ed. São Paulo: Oficina de textos. 2022. p. 235-245.

MIYAMOTO, T., ISHII, H., STAMMLER, G., KOCH, A., OGAWARA, T., TOMITA, Y. Distribution and molecular characterization of *Corynespora cassicola* isolates resistant to boscalid. **Plant Pathology**. v. 59, n. 5, p. 873–881, 2010.

PARK, S.-W.; KAIMOYO, E.; KUMAR, D.; MOSHER, S.; KLESSIG, D. F. Methyl salicylate is a critical mobile signal for

plant systemic acquired resistance. **Science**, v. 318, n. 5847, p.113–116, 2007.

ROCHA, M. R.; CASTRO, R. M.; PINA, R. C.; MARTINI, A. L. Efeito do acibenzolar-s-methyl (Benzothiadiazole), como indutor de resistência sistêmica em soja (*Glycine max* cv. ftcristalina), sobre *Heterodera glycines*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 30, n. 2; p. 35-38, 2000.

SILVA JÚNIOR, G. J.; BEHLAU, F. Controle químico. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (org.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. 5. ed. Minas Gerais: Agronômica Ceres, 2018. p. 239-260.

SINGH, G., SAHOTA, H. K. Impact of benzimidazole and dithiocarbamate fungicides on the photosynthetic machinery, sugar content and various antioxidative enzymes in chickpea. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 132, n. 11, p. 166–173, 2018.

SOURI, Z.; KHANNA, K.; KARIMI, N.; AHMAD, P. Silicon and Plants: Current Knowledge and Future Prospects. **Journal of Plant Growth Regulation** v. 40, n. 6, p. 906–925, 2021.

USDA – United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production**. USDA: Washington, 2022. 43p.