UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TAÍS COVATTI DA SILVA

USO DE TRIAZÓIS NO MANEJO DA FERRUGEM ASIÁTICA (*PHAKOPSORA PACHYRHIZI*) NA CULTURA DA SOJA

PATO BRANCO, PR

2024

TAÍS COVATTI DA SILVA

USO DE TRIAZÓIS NO MANEJO DA FERRUGEM ASIÁTICA (*PHAKOPSORA PACHYRHIZI*) NA CULTURA DA SOJA

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César Barbosa

PATO BRANCO, PR

2024

AGRADECIMENTOS

Deus esteve ao meu lado e me deu forças, ânimo e coragem para não desistir e continuar lutando por este meu sonho e objetivo de vida. A Ele eu devo minha gratidão eterna. A esta instituição tão imponente, eu agradeço pelo ambiente propício à evolução e crescimento, bem como a todas as pessoas que a tornam assim, tão especial para quem a conhece. Ao longo de todo meu percurso, tive o privilégio de aprender de perto com os melhores professores, educadores, orientadores. Sem eles não seria possível estar aqui hoje com o coração repleto de orgulho. Família e amigos, a vocês eu deixo um enorme agradecimento. Hoje sou uma pessoa realizada e feliz porque não estive só nesta longa caminhada. Vocês são o motivo do meu empenho e dedicação. E um agradecimento muito especial a meu orientador Prof. Júlio Barbosa, pelos ensinamentos transmitidos, compreensão, pela paciência, e confiança em mim depositada durante o desenvolvimento deste aprendizado. Por fim, agradeço todas as pessoas que de alguma forma estiveram envolvidas na realização deste trabalho e que me incentivaram para a conclusão desse sonho.

“A persistência é o caminho do êxito. ”

(Charles Chaplin, 1997. p. 118.)

RESUMO

A ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é uma das doenças mais devastadoras para a soja, ocasionando perdas significativas na produtividade. A literatura sobre a eficácia dos triazóis, tanto isolados quanto em combinação com outros fungicidas no controle ferrugem asiática foi revisada. Três estudos realizados em diferentes anos e localidades no Brasil foram analisados para discutir sobre a eficácia dos triazóis. Em geral, os resultados destes estudos revelaram que a combinação do protioconazol e trifloxistrobina foi a mais eficaz na redução da severidade da ferrugem, redução das folhas e no incremento da produtividade. Entre os triazóis isolados, o protioconazol demonstrou uma maior eficiência de controle da doença. Em termos de fitotoxidez, o ciproconazol apresentou menor toxicidade comparado ao tebuconazol. Os fungicidas em combinação que mostraram melhor desempenho foram trifloxistrobina e protioconazol, e o piraclostrobina associado a epoxiconazol e fluxapiroxade. Esta revisão destaca a importância da seleção apropriada dos fungicidas e a necessidade de ajustes nas práticas de aplicação para otimizar o manejo da ferrugem asiática e maximizar a produtividade da soja.

Palavras-chave: Ferrugem asiática; Triazóis; Controle de Doenças.

ABSTRACT

Asian rust, caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi*, is one of the most devastating diseases for soybean, resulting in significant productivity losses. The literature on the efficacy of triazoles, both alone and in combination with other fungicides for controlling Asian rust, was reviewed. Three studies conducted in different years and locations in Brazil were analyzed to discuss the effectiveness of triazoles. Overall, the results of these studies revealed that the combination of prothioconazole and trifloxystrobin was the most effective in reducing rust severity, decreasing leaf loss, and increasing productivity. Among the isolated triazoles, prothioconazole demonstrated greater disease control efficiency. In terms of phytotoxicity, cypoconazole showed lower toxicity compared to tebuconazole. The fungicide combinations that showed the best performance were trifloxystrobin with prothioconazole and pyraclostrobin associated with epoxiconazole and fluxapyroxade. This review highlights the importance of selecting appropriate fungicides and the need for adjustments in application practices to optimize the management of Asian rust and maximize soybean productivity..

Keywords: Asian Rust; Triazoles; Disease Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Télio e teliósporos de *Phakopsora meibomiae* (A); Télio e teliósporos de *Phakopsora pachyrhizi* (B) 19

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AACPD - Área abaixo da curva do progresso da doença

Cfa - Clima subtropical úmido com verão quente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 JUSTIFICATIVA 13
1.2 OBJETIVO 15
1.3 METODOLOGIA 16
2 REVISÃO DE LITERATURA 17
2.1 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA 18
2.1.1 Importância 18
2.1.2 Etiologia 18
2.1.3 Epidemiologia 19
2.1.4 Sintomatologia 21
2.1.5 Tipos de controle 21
2.1.5.1 Controle cultural 21
2.1.5.2 Controle genético 22
2.1.5.3 Controle químico 22
2.1.6 Fungicidas para controle da ferrugem asiática 23
2.1.7 Redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas 24
3 MATERIAL E MÉTODOS 26
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS 30
6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 35
7 REFERÊNCIAS 37

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja no Brasil começou em 1914, no Rio Grande do Sul. A expansão significativa ocorreu nos anos 1970, impulsionada pelo crescimento da indústria de óleo. Atualmente, a soja é uma das culturas mais importantes para a economia global, com múltiplas aplicações. No Brasil, além de assegurar a segurança alimentar, o agronegócio de soja contribui substancialmente para a economia, com exportações para mercados como a China e a Europa (Bonato, 1987).

O sucesso da soja na agricultura brasileira está relacionado ao retorno econômico e à versatilidade do grão, que serve como matéria-prima para a indústria, fonte de proteína para ração animal, produção de óleo vegetal e até biocombustíveis. A expansão dos plantios de soja no Brasil sempre esteve vinculada ao rápido desenvolvimento de tecnologias e pesquisas, motivado pela forte demanda externa. Tanto que, na década de 1970, a soja já liderava o agronegócio nacional, com a produção saltando de 1,5 milhões de toneladas em 1970 para mais de 15 milhões de toneladas em 1979. Esse crescimento foi resultado principalmente dos investimentos em produtividade, uma vez que a área plantada aumentou de 1,3 milhões para 8,8 milhões de hectares, enquanto a produtividade cresceu de 1,14 t/ha para 1,73 t/ha (Bonato, 1987).

Apesar desse crescimento, a produção enfrenta desafios, sendo as doenças da soja um dos principais obstáculos. Um fator que agrava a situação é a resistência de alguns fungos aos fungicidas, devido à redução de sensibilidade. O uso de fungicidas nas áreas produtoras de soja é expressivo, o que auxilia no manejo de doenças como ferrugem, mancha-alvo, mancha-parda e antracnose. No entanto, o aumento do uso de fungicidas ao longo dos anos está associado ao surgimento da ferrugem asiática da soja no Brasil a partir de 2001 e a relatos de resistência dos fungos a esses fungicidas.

A resistência dos fungos aos fungicidas ocorre quando há uma redução na sensibilidade do fungo ao fungicida, o que representa uma resposta natural do fungo a uma ameaça externa. Essa característica é herdável e estável, resultando em falhas no manejo de doenças na lavoura. A resistência geralmente se desenvolve por meio de processos evolutivos, acelerados pelo uso contínuo de fungicidas com o mesmo modo de ação ou pela aplicação incorreta das doses recomendadas.

Esse processo de seleção natural pode ser acelerado pelo uso inadequado de fungicidas, eliminando as populações de fungos mais sensíveis e aumentando a frequência das menos sensíveis. No caso da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), foi detectada uma redução na sensibilidade aos fungicidas dos grupos Estrobilurinas, Triazóis e Carboxamidas. A redução na eficiência dos fungicidas foi observada a partir da safra 2007/08 para os Triazóis, em 2013/14 para as Estrobilurinas, e em 2016/17 para as Carboxamidas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A ferrugem-asiática da soja causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é uma das doenças mais devastadoras para a cultura da soja (*Glycine max*), com perdas que podem variar entre 10% e 90%, dependendo da região geográfica (Sinclair; Hartman, 1999). Os primeiros sinais da doença são pequenas lesões nas folhas, com coloração que varia de castanho a marrom-escuro. Na face inferior da folha, é possível observar a presença de urédias, que são estruturas reprodutivas do fungo. Essas urédias desempenham um papel crucial, pois é nelas que ocorre a formação dos esporos do patógeno, os quais são posteriormente liberados e disseminados para infectar outras áreas da planta ou novas plantas. Em infecções severas, ocorre desfolha precoce, comprometendo a formação e o enchimento das vagens, além de reduzir o peso final dos grãos. Quanto mais cedo a desfolha acontece, menor é o tamanho dos grãos, resultando em perdas significativas de rendimento e qualidade (Yang *et al.,* 1991).

No Brasil, para minimizar os danos causados pela ferrugem asiática são recomendadas diversas estratégias de manejo. Entre elas, destacam-se a utilização de cultivares de ciclo precoce e a realização de semeaduras no início do período recomendado. Outras práticas incluem a eliminação de plantas de soja voluntárias, a adoção do vazio sanitário (ausência de cultivo de soja na entressafra), o monitoramento constante da lavoura desde o início do desenvolvimento da cultura, a aplicação de fungicidas assim que os primeiros sintomas aparecem ou de forma preventiva, e o uso de cultivares resistentes, quando disponíveis (Tecnologias, 2003). Nos últimos anos, as perdas de grãos foram reduzidas devido ao controle eficaz proporcionado pelos fungicidas. Atualmente, cerca de 100 fungicidas estão registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o

controle dessa doença. Desde a safra 2003/2004, uma série de ensaios em rede e estudos cooperativos vem sendo conduzida de forma sistemática com o objetivo de comparar a eficácia dos fungicidas já registrados no mercado com aqueles que ainda estão em fase de registro. Esses ensaios são fundamentais para avaliar o desempenho dos produtos sob diferentes condições de cultivo e em várias regiões produtoras, garantindo que apenas os fungicidas mais eficazes sejam utilizados no manejo das doenças da soja.

A partir da safra 2007/08, foi observada uma redução na eficácia dos fungicidas triazóis em ensaios realizados em semeaduras tardias. A redução da eficácia tem sido associada à seleção de população do fungo menos sensível aos fungicidas desse grupo. Apesar disso, os fungicidas triazóis continuam sendo utilizados em ensaios cooperativos para monitorar sua eficácia em diversas regiões produtoras.

1.2 OBJETIVO

Revisar a literatura atual sobre o uso de fungicidas do grupo do triazóis no manejo da ferrugem asiática da soja.

1.3 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de revisar a literatura atual sobre o uso de fungicidas triazóis no manejo da ferrugem asiática da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*. A metodologia adotada para a condução desta revisão bibliográfica incluiu as seguintes etapas. Definição dos objetivos da revisão, o primeiro passo foi estabelecer claramente os objetivos da revisão bibliográfica, focando na eficácia dos triazóis, no desenvolvimento de resistência pelo patógeno, e nas práticas de manejo integrado que envolvem o uso desses fungicidas.

Em seguida, foram selecionadas bases de dados científicas renomadas para a busca dos artigos, incluindo Google Scholar, e SciELO. Estas bases foram escolhidas por sua abrangência e relevância na área de ciências agrárias e biológicas.

Foram estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão, os critérios de inclusão dos estudos foram os seguintes. Artigos publicados nos últimos 20 anos (2004-2024) para garantir a relevância e atualidade dos dados, estudos que abordem diretamente o uso de triazóis no controle de *Phakopsora pachyrhizi*, trabalhos que discutam o desenvolvimento de resistência a triazóis, eficácia comparativa com outros fungicidas e práticas de manejo integrado. Já os critérios de exclusão foram, estudos que não abordam diretamente a ferrugem asiática da soja ou o uso de triazóis e artigos de opinião, resumos de conferências, ou revisões sem dados experimentais.

Foi realizada uma busca sistemática utilizando as palavras-chave previamente definidas, como "triazóis", "ferrugem asiática", "*Phakopsora pachyrhizi*", "controle químico", "manejo de resistência", e "soja". As buscas foram conduzidas nas bases de dados selecionadas e, adicionalmente, em bibliotecas digitais de universidades e centros de pesquisa.

Os artigos selecionados foram analisados quanto à metodologia utilizada, resultados obtidos, e conclusões sobre a eficácia dos triazóis no manejo da ferrugem asiática. Os dados foram sintetizados para identificar tendências, lacunas de conhecimento, e estratégias eficazes de manejo.

Foi realizada uma avaliação crítica da qualidade dos estudos incluídos, considerando o desenho experimental, relevância dos dados apresentados, e a robustez das conclusões. Estudos de alta qualidade foram priorizados na síntese dos resultados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é cultivada mundialmente. Sua evolução ocorreu por meio de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem, sendo domesticada e melhorada por cientistas chineses (Tecnologias, 2003). Apesar de ser considerada um grão sagrado e explorada intensamente na dieta alimentar oriental há cinco milênios, o Ocidente ignorou seu cultivo até meados do século XX. Nesse período, os Estados Unidos (EUA) iniciaram sua exploração comercial, utilizando a soja inicialmente como forrageira e, posteriormente, como grão. Em 1940, no auge do cultivo como forrageira, foram cultivados dois milhões de hectares com essa finalidade. Na década de 1970, a área cultivada para a produção de grãos cresceu significativamente, não apenas nos EUA, mas também na Argentina e no Brasil (Tecnologias, 2003).

O desenvolvimento da soja no Brasil começou no Estado da Bahia (BA) em 1882. O germoplasma proveniente dos EUA, no entanto, não era adaptado às condições de baixa latitude da Bahia (12°S), resultando em insucesso na região. Em 1891, novos materiais foram testados no Estado de São Paulo (SP) (latitude = 23°S), obtendo relativo êxito na produção de feno e grãos. Em 1900, a cultura foi experimentada no Rio Grande do Sul (RS), o estado mais meridional do Brasil (latitudes = 28°S a 34°S), onde as condições climáticas são semelhantes às do sul dos EUA (Tecnologias, 2003).

O sucesso da soja no Brasil se deve a vários fatores, entre os quais se destacam: ampla adaptação e alta produtividade da planta; vasta dimensão territorial; condições ambientais favoráveis; e programas nacionais de melhoramento genético, que proporcionam suporte humano e tecnológico para a expansão da cultura em regiões tropicais de baixa latitude (Kiihl *et al*., 2003; Agnol *et al.*, 2007). Na safra 2018/19, a área cultivada atingiu 35.877.800 hectares, resultando em uma produção de 115.072.500 toneladas (Conab, 2019).

A incapacidade de atingir o teto produtivo (~11 t ha-1) é atribuída a vários fatores, sendo os problemas fitossanitários os principais. Entre as doenças presentes, a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) é a que causa os maiores danos à cultura (Yorinori, 2005).

2.1 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

2.1.1 Importância

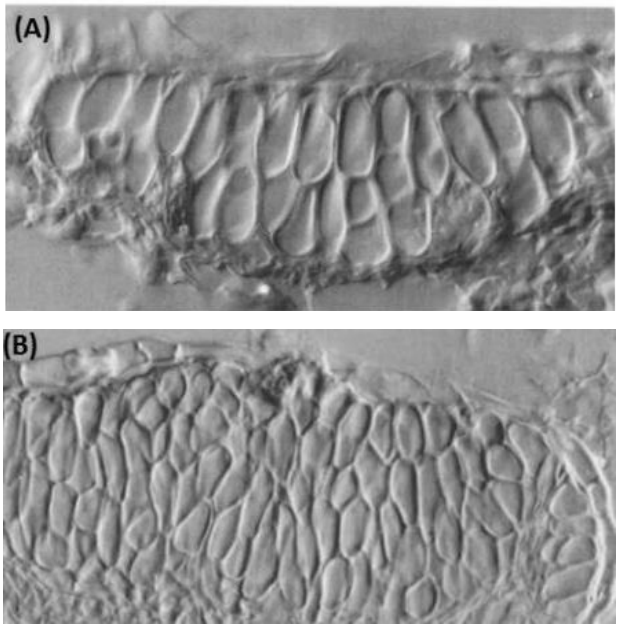
Existem cerca de 50 doenças catalogadas que afetam a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Brasil, sendo a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi Sydow & Sydow*, considerada a mais destrutiva (Yorinori, 2005). *Phakopsora pachyrhizi* possui alta capacidade de disseminação pelo vento e rápida multiplicação, causando desfolha precoce, impedindo a formação completa dos grãos e reduzindo a produtividade entre 10% e 90% (Yorinori *et al*., 2005). No Brasil, há relatos de perdas totais, como em um cultivo em Chapadão do Sul (MS) (Andrade, 2009). Desde seu surgimento em 2001, a doença causou perdas de rendimento equivalentes a 10 bilhões de dólares para os produtores de soja no Brasil (Langenbach *et al.,* 2016).

2.1.2 Etiologia

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) está suscetível à infecção por duas espécies distintas do gênero *Phakopsora meibomiae* (Arth.) Arth. (Fase anamórfica: Malupa vignae) e *Phakopsora pachyrhizi Sydow & P. Sydow* (fase anamórfica: Malupa sojae). A ferrugem americana (*P. meibomiae*) raramente causa perdas, possui baixa capacidade de esporulação e é predominante em condições de temperatura amena (abaixo de 25 °C). A ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) geralmente causa perdas, possui alta capacidade de esporulação e predomina em uma faixa mais variável de temperatura (15 - 30 °C) (Yorinori, 2005).

Phakopsora pachyrhizi (filo Basidiomycota, classe Basidiomycetes, ordem Uredinales e família Phakopsoraceae) agente causal da ferrugem asiática (foi registrado pela primeira vez em 1902 no Japão, sendo referido como *Uredo sojae Henn* (Goellner *et al.,* 2010). Em 1914, foi descrito na Annual Micology e denominado *P. pachyrhizi* por Hans e Paul Sydow. A nomenclatura foi baseada em um isolado obtido da planta *Pachyrhizus erosus* (L.) Urb. Em (Goellner *et al*., 2010).

Figura 1 - Télio e teliósporos de *Phakopsora meibomiae* (A); Télio e teliósporos de *Phakopsora pachyrhizi* (B)



Fonte: Hartman (2014).

2.1.3 Epidemiologia

Os ciclos de vida dos fungos responsáveis pela ferrugem são complexos, envolvendo diferentes tipos de esporos e geralmente uma especialização estreita com sua esperança. A reprodução sexual das ferrugens dicarióticas envolve a formação de teliósporos, cariogamia e meiose, formando quatro basidiósporos haplóides que infectam o hospedeiro em questão ou hospedeiros alternativos, sendo denominados patógenos heterocíclicos (Fiallos, 2015). Embora os teliósporos de *Phakopsora pachyrhizi* tenham sido relatados na Ásia em vários hospedeiros, incluindo a soja, sua germinação nunca foi observada em condições de laboratório. Consequentemente, em condições naturais, a reprodução é restrita à fase assexual por urediniósporos (Fiallos, 2015).

O agente causal da ferrugem asiática é um parasita obrigatório, sobrevivendo em hospedeiras vivas durante o período entressafra. As fontes de inóculo primário incluem plantas de soja de cultivo sequeiro e irrigado, plantas voluntárias, plantas daninhas e nativas, como kudzu *(Pueraria lobata*) e soja perene (*Neonotonia wightii* (*Wight & Arn*)) (Reis *et al.,* 2017).

Os urediniósporos são esporos assexuais pequenos, secos e leves (Maude, 2010). Eles são liberados pelas uredínias através do ostíolo e removidos durante o dia, quando as folhas infectadas estão secas. Posteriormente, são transportados pelo vento e podem ser depositados em plantas distantes do inóculo inicial (Reis *et al*., 2017). Por serem esporos secos e leves, a dispersão por correntes aéreas continentais é provável, como demonstrado pela chegada do inóculo da África do Sul à América (Caldwell, 2002).

Os urediniósporos transportados pelo ar são depositados nas superfícies foliares por vento ou sedimentação em ar parado, aguardando estímulos ideais para germinação (Figura 2). Sob condições apropriadas de molhamento e temperatura (6-10 horas; 17-28 °C), os urediniósporos germinam com um único tubo germinativo, que pode variar de 5 a 400 µm de comprimento (Koch, 2015). A iluminação unilateral leva ao surgimento do tubo germinativo no lado sombreado e ao crescimento distante da luz (Koch, 2015). O crescimento do tubo germinativo é terminal, formando um apressório globular, não ornamentado, com tamanho semelhante ao do urediniósporo (Koch, 2015).

Em contraste com outros causadores de ferrugem, *P. pachyrhizi* penetra diretamente na cutícula (Heath, 2001). O processo começa com a formação de uma estrutura micelial chamada cone apressorial, que penetra a parede celular da epiderme. A hifa de penetração atinge o espaço intercelular do parênquima palissádico ou lacunoso, dependendo da localização da penetração, na face adaxial ou abaxial, respectivamente (Reis et al., 2017). Um septo se forma, separando a hifa de penetração da hifa de infecção (Fiallos, 2015). As hifas de infecção se ramificam, formando hifas secundárias. A formação dos haustórios é antecipada pela criação de uma célula-mãe de haustório, que é delimitada por um septo, separando-a do restante do micélio originado das hifas secundárias de infecção. Consequentemente, ocorre intensa colonização do tecido mesofílico, com os espaços intercelulares das folhas sendo preenchidos com micélio fúngico. A formação do primeiro haustório é relatada entre 24 e 48 horas após o contato inicial entre os urediniósporos e um hospedeiro suscetível (Koch, 2015).

O ciclo de reprodução assexuada é finalizado quando a uredínia formada produz urediniósporos, cerca de 5 a 8 dias após a deposição do urediniósporo na cutícula vegetal (Koch, 2015). A uredosporogênese ocorre por gemação ou brotação,

através do primeiro septo, produzindo o esporo. No segundo septo, o urediniósporo é separado por um pedicelo proximal e um distal, tornando-o maduro (Koch, 2015).

2.1.4 Sintomatologia

Os sintomas da doença surgem na parte aérea da planta, abrangendo caules, pecíolos, cotilédones e, sobretudo, as folhas, podendo ocorrer em qualquer estádio fenológico da cultura. Os primeiros sinais ocorrem no terço inferior do dossel da planta, em qualquer fase de desenvolvimento, embora sejam mais comuns no início da floração (Almeida et al., 2005). As pústulas com uredínias variam de cor castanho-claro (Figura 3) a castanho-escuro, e abrem-se em pequenos poros que liberam os urediniósporos. Inicialmente hialinos, os urediniósporos tornam-se bege e se acumulam ao redor dos poros ou são dispersos pelo vento. O número de uredínias por lesão varia de uma a seis. À medida que a esporulação avança, o tecido da folha ao redor das primeiras uredínias adquire coloração castanho-claro (lesão "TAN") a castanho avermelhada (lesão “RB”: "reddish-brown") (Fiallos, 2015). As lesões tendem a ter formato angular e podem atingir de 2 a 5 mm de diâmetro (Almeida, 2005).

Plantas severamente infectadas mostram amarelecimento foliar e desfolha precoce (Figura 4), o que compromete a formação e o enchimento das vagens, além do peso final dos grãos. Quanto mais cedo ocorre a desfolha, menor será o tamanho dos grãos e maior a perda de rendimento e qualidade (Yang *et al.,* 1991). Já foram registradas perdas de rendimento de 80% a 90% (Fiallos, 2015). A severidade da doença ao longo do ciclo da cultura está relacionada ao ambiente (temperatura e umidade), ao hospedeiro (estádio fenológico) e ao patógeno (concentração de inóculo viável) (Reis et al., 2017).

2.1.5 Tipos de controle

2.1.5.1 Controle cultural

Phakopsora pachyrhizi é um patógeno biotrófico que sobrevive em plantas voluntárias durante o período sem cultivo da soja; por isso, a remoção dessas plantas é recomendada (Reis *et al.,* 2017). Outros métodos culturais importantes incluem a escolha da época adequada de semeadura e a utilização de cultivares precoces, que

ajudam a reduzir a exposição das plantas ao patógeno (Yorinori, 2005).

Uma maior densidade populacional pode agravar a doença (Ferreira, 2009; Ramos et al., 2009). O aumento do espaçamento entre linhas reduz a severidade da ferrugem e permite uma melhor distribuição e penetração dos fungicidas durante as aplicações (Almeida, 2005). A rotação de culturas com milho, sorgo e arroz é uma medida eficaz, uma vez que essas plantas não são hospedeiras do patógeno (Yorinori, 2005).

2.1.5.2 Controle genético

Encontrar materiais resistentes às ferrugens é desafiador devido à alta variabilidade e capacidade de esporulação dos patógenos. Os poucos materiais catalogados como resistentes possuem resistência vertical ou monogênica/raça-específica, em vez de resistência horizontal ou poligênica (Boiteux, 2016).

As principais fontes de resistência a *Phakopsora pachyrhizi* provêm da própria soja, conferindo cisgenia. Além disso, análises genéticas e moleculares indicam a presença de vários alelos ou genes estreitamente relacionados que governam a resistência à ferrugem da soja (Boiteux, 2016).

2.1.5.3 Controle químico

Com o surgimento da ferrugem asiática, o uso de fungicidas na cultura da soja aumentou, tornando-se a estratégia de manejo mais eficaz para evitar reduções na produtividade. O conhecimento técnico sobre fungicidas é cada vez mais crucial para a aplicação adequada no campo (Godoy *et al.,* 2007). Atualmente, o manejo químico utiliza fungicidas com ação sítio-específica (atuam em um único sítio metabólico da célula fúngica) e ação multi-sítio (atuam em vários sítios metabólicos da célula fúngica) (McGrath, 2011).

Os principais fungicidas sítio-específicos são: inibidores da desmetilação/síntese de ergosterol (IDM - triazóis), inibidores da quinona externa (IQe - estrobilurinas) e inibidores da succinato desidrogenase (ISDH - carboxamidas). A primeira aplicação deve ser feita nos sintomas iniciais ou de forma preventiva, conforme critérios regionais, levando em consideração as condições climáticas e o

estádio fenológico da planta (Godoy *et al.*, 2017). Para a detecção precoce da doença, é necessário coletar e analisar constantemente folhas do terço inferior e/ou médio do dossel das plantas, especialmente em áreas com acúmulo de umidade, para verificar sintomas e sinais do patógeno (Godoy *et al.*, 2017).

Detectar o patógeno nos estádios iniciais é crucial para um controle eficiente e para reduzir a pressão de seleção direcional sobre as moléculas sítio-específicas (Reis et al., 2017). Populações de *Phakopsora pachyrhizi* já mostram menor sensibilidade aos fungicidas sítio-específicos atualmente utilizados (Klosowski *et al.,* 2015; Schmitz et al., 2013; Simões et al., 2017; Frac, 2019). Portanto, é recomendável evitar aplicações antecipadas, calendarizadas ou sequenciais com os mesmos grupos químicos (Godoy et al., 2017). O uso de fungicidas com ação multissítio tem como objetivo ampliar o alcance de controle sobre o patógeno e preservar a eficácia das moléculas de ação específica do sítio. (Ballardin, 2017).

2.1.6 Fungicidas para controle da ferrugem asiática

O uso de fungicidas é uma das principais estratégias para o controle da mancha asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*. Desde que a doença foi detectada pela primeira vez no Brasil em 2001, o desenvolvimento de antibióticos em particular tem sido importante para reduzir esta perda patológica (Silva *et al*., 2013).

Os triazóis, como o tebuconazol e o ciproconazol, são inibidores da biossíntese do ergosterol, importante componente da membrana celular dos fungos (Almeida et al., 2005). Essa medida evita o crescimento e a reprodução do fungo, proporcionando proteção sistêmica à planta. Além disso, a eficácia dos triazóides pode ser comprometida pelo uso repetitivo, o que pode levar ao desenvolvimento de resistência nas populações de *P. pachyrhizi* (Martins *et al.*, 2016). Recomenda-se a rotação do triazol com fungicidas de outros grupos químicos para reduzir esse risco.

As estrobilurinas, como o azoxistrobina e o piraclostrobina, são fungicidas que inibem a respiração mitocondrial do fungo, interrompendo a produção de energia e levando à morte do patógeno (Souza, 2018). Essas substâncias têm se mostrado altamente eficazes, especialmente quando usadas em misturas com triazóis, aumentando a amplitude de controle e retardando o desenvolvimento de resistência (Oliveira & Freitas, 2009). No entanto, o uso exclusivo de estrobilurinas pode também

resultar em resistência, por isso a combinação com outros fungicidas é frequentemente recomendada.

As carboxamidas, como a boscalida e o fluxapirróxido, representam uma classe cada vez mais recente de fungicidas introduzida no manejo da ferrugem asiática (Gonçalves & Ribeiro, 2010). Esses fungicidas atacam inibindo a succinato desidrogenase (SDHI), uma enzima essencial ao ciclo respiratório dos fungos. A introdução de carboxamidas proporciona uma nova abordagem para o controle da ferrugem asiática, principalmente em programas de manejo integrado que buscam reduzir a pressão seletiva e eliminar a resistência fúngica (Carvalho *et al.,* 2011).

Mesmo que os fungicidas sejam eficazes, não controlam a ferrugem asiática, a sua utilização deve ser planeada estrategicamente para garantir a sustentabilidade e a gestão. A rotação de fungicidas com diferentes modos de ação, uso de misturas e aplicação baseada na vigilância de doenças são práticas recomendadas para manter a eficácia dos fungicidas e reduzir o risco de resistência (NASCIMENTO et al., 2012). Além disso, há uma pesquisa contínua de novas moléculas e moléculas de fungicidas necessárias para lidar com futuros os fios no manejo da ferrugem asiática (Pinheiro & Silva, 2020).

2.1.7 Redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas

A redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas é um fenômeno que tem preocupado pesquisadores e produtores agrícolas, uma vez que compromete a eficácia dos produtos químicos utilizados no controle da ferrugem asiática da soja. Estudos recentes indicam que o uso contínuo e intensivo de fungicidas, especialmente aqueles com o mesmo modo de ação, exerce uma forte pressão seletiva sobre as populações de *P. pachyrhizi*, levando à seleção de variantes do fungo com menor sensibilidade aos fungicidas aplicados (Silva *et al., 2*013). Esse processo de seleção pode resultar em falhas no controle da doença e em perdas significativas de produtividade nas lavouras de soja (Ferreira & Almeida, 2005).

Os triazóis, uma das classes de fungicidas mais amplamente utilizadas, têm sido particularmente afetados por esse fenômeno. Diversos relatos de campo demonstram uma redução na eficácia de triazóis como o tebuconazol e o ciproconazol, atribuída ao desenvolvimento de resistência em populações de *P. pachyrhizi* (Martins, 2016). Essa redução na sensibilidade está associada a mutações

no gene CYP51, que codifica a enzima alvo dos triazóis, resultando em uma menor afinidade do fungicida pela enzima e, consequentemente, em uma eficácia reduzida (Garcia *et al*., 2017).

Além dos triazóis, as estrobilurinas também têm mostrado uma redução na eficácia devido à resistência adquirida por *P. pachyrhizi.* O uso repetido de estrobilurinas, como o azoxistrobina, tem levado ao surgimento de mutações na proteína citocromo b, a qual é o alvo desses fungicidas (Souza, 2018). Essas mutações reduzem a capacidade do fungicida de inibir a respiração mitocondrial do fungo, tornando o controle da doença menos eficiente e exigindo a adoção de alternativas de manejo para manter a produção (Oliveira & Silveira, 2019).

A introdução de fungicidas da classe das carboxamidas trouxe uma nova esperança para o controle da ferrugem asiática, mas a redução da sensibilidade também foi documentada para esses compostos (Carvalho *et al.,* 2020). A resistência às carboxamidas, que inibem a enzima succinato desidrogenasse, tem sido associada a mutações nos genes que codificam essa enzima, resultando em uma menor ligação do fungicida e em um controle menos eficaz da doença (Garcia, 2017). Assim, a gestão da resistência requer um enfoque integrado, que inclua a rotação de fungicidas, o uso de misturas e a implementação de práticas culturais que reduzam a pressão de seleção.

Para enfrentar os desafios da redução da sensibilidade de *P. pachyrhizi* a fungicidas, a pesquisa e o desenvolvimento de novas moléculas com diferentes modos de ação são fundamentais (Pinheiro *et al*., 2020). Além disso, a monitorização contínua da sensibilidade das populações de *P. pachyrhizi* e a adaptação das estratégias de manejo com base nas informações obtidas são essenciais para preservar a eficácia dos fungicidas disponíveis e garantir a sustentabilidade do controle químico da ferrugem asiática a longo prazo (Garcia, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos selecionados foram analisados com base em critérios como a eficácia dos triazóis, o desenvolvimento de resistência do patógeno e as práticas de manejo integrado na cultura da soja. Os dados extraídos foram organizados em categorias temáticas para facilitar a comparação e a identificação de tendências e lacunas na literatura existente. Assim foram selecionados 3 estudos representativos e designados estudo 1, estudo 2 e estudo 3.

ESTUDO 1:

IMPLEMENTAÇÃO DO ESTUDO E MANEJO DA CULTURA

Neste primeiro estudo foi realizado na área experimental do Curso de Agronomia da UTFPR, Campus Pato Branco, situado nas coordenadas 26º16’36’’ S e 52º41’20’’ O, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico. A região possui um clima subtropical úmido (Cfa) com uma altitude de 760 metros. A semeadura da soja, cultivar Syngenta 1163, foi feita em 27 de janeiro de 2018, utilizando uma semeadora mecânica sobre milheto, com um estande final de 300.000 plantas por hectare e espaçamento de 0,45 metros entre as fileiras. Dez dias após a semeadura, realizou-se o controle mecânico de plantas daninhas. No estádio V4 da cultura, foi aplicado o herbicida Glifosato Atanor 480® na dose de 3,5 L/ha para controle químico das plantas daninhas. Além disso, o inseticida Karatê Zeon 250® (30 ml/ha) foi utilizado para controlar pragas que causavam danos à cultura.

TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos com agroquímicos para o controle da ferrugem asiática na soja foram realizados de forma calendarizada, com três aplicações nos dias 03/04, 18/04 e 03/05/2018. A primeira aplicação foi feita no início dos sintomas da doença, no estágio R1 (início do florescimento), com as seguintes repetições a cada 15 dias.

Os tratamentos incluíram uma testemunha (água) e cinco combinações de fungicidas: Ativum® EC (piraclostrobina + epoxiconazol + fluxapiroxade), FOX® (trifloxistrobina + protioconazol), Unizeb Gold® (mancozebe), e misturas de Ativum® EC e FOX® com Unizeb Gold®. As aplicações foram feitas com um pulverizador pressurizado por CO2, com vazão de 150 L/ha, em um delineamento de blocos ao

acaso, totalizando 24 unidades experimentais.

AVALIAÇÃO DA DOENÇA

Antes da primeira aplicação dos tratamentos, a severidade da ferrugem foi avaliada utilizando uma escala diagramática, analisando 45 folhas por parcela.

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E SEUS COMPONENTES

A colheita foi realizada em 24 de maio de 2018, com plantas de três linhas selecionadas para avaliação. Após a trilhagem mecânica, as amostras foram pesadas, e os dados de produtividade foram ajustados para umidade de 13%. A análise de variância (ANOVA) foi realizada para as variáveis produtividade de grãos e massa de mil grãos, com as médias comparadas pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software GENES®.

ESTUDO 2:

IMPLEMENTAÇÃO DO ESTUDO E MANEJO DA CULTURA

Neste segundo experimento, (Goulart, 2022) o experimento foi conduzido no Centro de Pesquisa Agrícola (CPA) em Rio Verde, GO, durante a safra 2020/2021, em uma área sob sistema de plantio direto. A semeadura foi realizada em 10/12/2019, utilizando a cultivar M-Soy7739 IPRO, recomendada para a região, com uma população final de 400 mil plantas por hectare para favorecer a incidência do patógeno.

Os tratos culturais seguiam as práticas comuns em lavouras comerciais, com aplicação de herbicidas e inseticidas conforme necessário, utilizando apenas produtos registrados pelo Ministério da Agricultura.

TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento utilizado no experimento foi o de blocos ao acaso, com sete tratamentos e quatro repetições. As parcelas experimentais consistiram de oito fileiras de cinco metros de comprimento, sendo as quatro fileiras centrais utilizadas como área útil, totalizando 8 m². Como tratamentos, além da testemunha não tratada, utilizaram os produtos: Ciproconazol, Tebuconazol, Protioconazol, Difenoconazole, Tetraconazol e Protioconazol+Trifloxistrobina.

AVALIAÇÃO DA DOENÇA

Durante o experimento, foram realizadas quatro avaliações da severidade da doença a partir do estágio R1. A severidade da doença foi medida avaliando-se os trifólios localizados na mesma altura das plantas em todos os tratamentos. As avaliações focaram nos trifólios do terceiro nó de baixo para cima na metade inferior da planta e do segundo nó de cima para baixo na metade superior. Com o progresso da desfolha na parte inferior, o primeiro trifólio de baixo para cima foi utilizado para a avaliação, garantindo uniformidade nas medições, inclusive no tratamento testemunha.

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E SEUS COMPONENTES

A avaliação do rendimento da cultura foi realizada ao final do experimento, com a colheita ocorrendo em 08/04/2020 (R9). Foram mensurados o peso de mil grãos e a produtividade, com correção da umidade para 13% (EMBRAPA, 1997). O incremento de produção em relação à testemunha foi estimado em sacos por hectare. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey, utilizando o software SISVAR 4.2 com 5% de significância.

ESTUDO 3:

IMPLEMENTAÇÃO DO ESTUDO E MANEJO DA CULTURA

Neste terceiro experimento (Camargos, 2017). O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual do Norte do Paraná, no Campus Luiz Meneghel, em Bandeirantes, PR, durante as safras 2015/2016 e 2016/2017. A soja (*Glycine max*) da cultivar NIDERA 5909 RR foi semeada em 11/11/2015 e 16/12/2016, no sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,45 metro entre as linhas e 14 sementes por metro linear.

TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com vinte e dois tratamentos e quatro repetições. Cada parcela era composta por cinco linhas de 6 metros de comprimento, sendo as duas linhas externas e 0,5 metro nas extremidades

utilizadas como bordaduras

As aplicações de fungicidas foram realizadas com um pulverizador costal pressurizado por CO2, equipado com uma barra de 6 bicos espaçados em 0,5 metro, aplicados a 0,5 metro das plantas, utilizando bicos de ponta AD 015 D. Os fungicidas incluíam princípios ativos dos grupos químicos dos triazóis, estrobilurinas e ditiocarbamatos.

AVALIAÇÃO DA DOENÇA

O objetivo foi avaliar a contribuição dos protetores fungicidas, como mancozebe, clorotalonil e oxicloreto de cobre, aplicados isoladamente ou em associação com as principais misturas de fungicidas disponíveis no mercado. Estas misturas incluem inibidores da desmetilação (triazóis), inibidores da quinona oxidase (estrobilurinas) e inibidores da succinato desidrogenase (carboxamidas). A aplicação dessas transferências foi realizada em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja, com o intuito de verificar sua eficácia no manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), uma das principais doenças que afetam a produtividade da soja. O estudo buscou determinar a eficiência das estratégias de controle, analisando se o uso combinado de protetores fungicidas com misturas modernas poderia fornecer maior proteção e contribuir para uma gestão mais sustentável e eficaz da doença.

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E SEUS COMPONENTES

A colheita foi realizada em 22 de março de 2016, coletando-se uma área útil de 10 m² por parcela e trilhando as plantas mecanicamente para determinar a produtividade de grãos.

Após a colheita, as amostras foram pesadas, e os resultados de produtividade foram corrigidos para uma umidade de 13%, sendo expressos em kg/ha. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as diferenças entre as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

ESTUDO 1:

No primeiro caso, foi identificado um efeito significativo nas variáveis de produtividade de grãos e severidade da ferrugem asiática. As aplicações de fungicidas iniciaram no estádio R1, momento em que os primeiros sintomas da doença foram observados, com o experimento apresentando uma severidade homogênea da doença. A severidade elevada da ferrugem asiática afetou de maneira significativa a produtividade da soja, com variações entre os diferentes tratamentos. No entanto, a massa de mil grãos não foi significativamente afetada. A variação na produtividade de grãos e na severidade da ferrugem asiática foi influenciada pela eficiência dos fungicidas utilizados. O cultivo tardio da soja, sob pressão de seleção devido ao controle químico do cultivo anterior, pode ter impactado a eficiência dos fungicidas, indicando uma possível redução na sensibilidade do fungo aos produtos.

Entre os tratamentos, o fungicida mancozebe demonstrou auxiliar no controle da doença quando combinado com outros fungicidas, mas apresentou eficácia reduzida quando utilizado isoladamente. A elevada severidade da doença foi inicialmente observada devido a um monitoramento seguido por precipitação, criando condições favoráveis ao desenvolvimento do patógeno. Em condições normais de cultivo, com baixa pressão de inóculo, uma aplicação preventiva no estádio R1 é recomendada para evitar que o fungo colonize o tecido foliar, prevenindo prejuízos significativos. Quando se comparou o tratamento com o produto Ativum® ao tratamento Ativum+Unizeb G®, observou-se uma diferença significativa na severidade da doença com a adição de mancozebe.

Os tratamentos que resultaram em maiores produtividades de grãos foram aqueles que apresentaram menor severidade da doença. As menores produtividades foram observadas nas parcelas sem tratamento, seguidas pelo tratamento com Unizeb Gold (mancozebe). As maiores produtividades foram obtidas com os tratamentos Fox®+Unizeb G® (2600 kg/ha-1), Fox® (2384,68 kg/ha-1), Ativum®+Unizeb G® (2195,25 kg/ha-1) e Ativum® (2100 kg/ha-1), sem diferenças significativas entre eles. O Unizeb G® utilizado isoladamente mostrou eficiência inferior, embora tenha superado a produtividade da testemunha. A produtividade de grãos observada neste experimento foi inferior à de outros estudos, possivelmente devido à maior pressão da doença em cultivo tardio e às aplicações calendarizadas,

que poderiam ter sido antecipadas.

O uso de fungicidas deve ser planejado, considerando a época de cultivo e a presença do inóculo. Aplicações calendarizadas são comuns devido à dificuldade dos produtores em identificar o início da doença, o que pode comprometer a eficiência dos fungicidas. Estudos mostram que pulverizações sequenciais reduzem a severidade da ferrugem asiática em comparação com aplicações únicas, sendo importante considerar a chegada do patógeno, as condições climáticas e o intervalo adequado entre as aplicações. A adição de mancozebe aos tratamentos aumentou a produtividade, pois o fungicida atua em múltiplos sítios metabólicos do patógeno, sendo eficaz no controle de resistência.

Apesar de sua eficácia, o mancozebe, quando utilizado isoladamente, não se mostrou tão eficiente quanto outros fungicidas. No entanto, estudos indicam que o mancozebe, aplicado em doses e frequências adequadas, pode superar a eficácia de outros fungicidas comerciais. Seu modo de ação, que não penetra no tecido vegetal, faz com que seja suscetível à fotodegradação e lavagem, mas, por atuar em vários sítios do patógeno, é uma excelente prática no manejo da resistência de *Phakopsora pachyrhizi*. As plantas tratadas com mancozebe apresentaram desfolha mais tardia, resultando em maior período de atividade fotossintética durante a fase de enchimento de grãos, o que se correlaciona com a produtividade.

ESTUDO 2:

No segundo caso, os tratamentos com fungicidas mostraram eficácia significativa no controle da ferrugem asiática em soja, comparados à testemunha, que não recebeu tratamento. No estágio R1, não foram observados sintomas da doença, mas a partir do estágio R3, a ferrugem começou a se manifestar, atingindo uma severidade de até 47,1% no estágio R6 em plantas não tratadas. Entre os fungicidas avaliados, a mistura de Protioconazol + Trifloxistrobina se destacou como a mais eficaz, apresentando a menor severidade da doença e maior porcentagem de controle (83,5%), comprovando a superioridade das misturas de triazóis com estrobilurinas em comparação com triazóis aplicados isoladamente.

A eficiência dos triazóis no controle da ferrugem asiática variou significativamente, com o Protioconazol se destacando como o triazol mais eficiente, enquanto o Difenoconazol mostrou baixa eficácia. Estudos anteriores corroboram esses resultados, indicando que misturas de triazóis com estrobilurinas são mais eficazes no controle da ferrugem. Isso ocorre porque a combinação de diferentes grupos químicos oferece um controle mais robusto, reduzindo a incidência da doença e minimizando o risco de resistência do patógeno aos fungicidas.

A fitotoxicidade foi avaliada nos tratamentos, e embora todos os tratamentos com fungicidas tenham mostrado alguma toxicidade, a mistura de Protioconazol + Trifloxistrobina apresentou a menor taxa de desfolha, enquanto o Tebuconazol teve os piores resultados em termos de fitotoxicidade. A aplicação de fungicidas resultou em menor desfolha, maior rendimento e maior peso de mil grãos (PMG), especialmente nos tratamentos com Protioconazol + Trifloxistrobina, que demonstraram a maior eficiência na proteção das plantas contra a ferrugem asiática.

Finalmente, a análise de correlação revelou uma forte relação negativa entre a severidade da ferrugem e a desfolha com o peso de mil grãos e a produtividade, indicando que o controle efetivo da doença tem um impacto direto na qualidade e no rendimento das sementes. As plantas que apresentaram menor severidade da doença e menor desfolham produziram grãos mais densos e de maior peso, confirmando que a ferrugem asiática afeta significativamente a produtividade da soja, principalmente em termos de qualidade das sementes.

ESTUDO 3:

No terceiro caso, a análise de variância mostrou que o princípio ativo dos fungicidas teve um efeito significativo na incidência da ferrugem asiática na soja ($P \leq 0,05$). Os tratamentos que utilizaram fungicidas protetores, especialmente na combinação de trifloxistrobina + protioconazol + clorotalonil, demonstraram uma eficiência superior a 80% no controle da doença, destacando a importância de misturar fungicidas específicos para aumentar a eficácia e reduzir o risco de resistência do patógeno. Comparado aos outros tratamentos e à testemunha, esse tratamento apresentou uma redução significativa na incidência da doença.

Em relação ao peso de mil grãos, a análise revelou que o fator princípio ativo

teve um efeito significativo (P≤0,05), com os tratamentos sem fungicidas protetores, como oxicloreto de cobre e clorotalonil, apresentando os menores pesos. Não houve diferença significativa quando o mancozeb foi aplicado isoladamente, mas sua adição ao tratamento com fluxapiroxade + piraclostrobina resultou em um aumento no peso de mil grãos, embora esses resultados não tenham sido replicados nesta pesquisa, possivelmente devido a variações climáticas. No entanto, o fator ano não teve um efeito significativo sobre o peso de mil grãos (P>0,05).

No rendimento da soja, apesar de não haver diferença significativa entre a testemunha e os diferentes fungicidas protetores, o tratamento com trifloxistrobina + protioconazol + clorotalonil se destacou, aumentando a produtividade em 37,79% em comparação com a testemunha. Esses resultados corroboram estudos anteriores que demonstraram que a associação de fungicidas protetores a triazóis e estrobilurinas pode melhorar o rendimento da soja. Embora a análise de variância não tenha mostrado um efeito significativo do fator ano sobre o rendimento (P>0,05), a pesquisa confirma que o uso adequado de fungicidas pode reduzir os danos causados pela ferrugem asiática e aumentar a produtividade das culturas.

.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os triazóis, reconhecidos por sua ação sistêmica e capacidade de inibir a biossíntese de ergosterol nas membranas celulares dos fungos, têm sido amplamente utilizados como uma das principais ferramentas no controle dessa doença. No entanto, a eficácia dos triazóis tem sido desafiada ao longo dos anos devido ao desenvolvimento de resistência por parte do patógeno, evidenciado pela redução na sensibilidade de *P. pachyrhizi* a esses fungicidas.

Os estudos revisados mostram que, embora os triazóis tenham desempenhado um papel vital no manejo da ferrugem asiática, sua utilização deve ser cuidadosamente planejada e integrada a outras estratégias de manejo. A resistência do fungo aos triazóis destaca a necessidade de rotacionar fungicidas com diferentes mecanismos de ação e de adotar práticas culturais que reduzam a pressão de seleção. Além disso, o uso de triazóis em misturas com outros fungicidas, como estrobilurinas e carboxamidas, tem mostrado maior eficácia no controle da doença, prolongando a vida útil desses produtos.

Outro ponto importante ressaltado na literatura é a influência das condições ambientais e do momento de aplicação dos triazóis sobre sua eficácia. Aplicações preventivas, realizadas antes do estabelecimento da doença, são mais eficazes do que aplicações curativas, especialmente em cenários de alta pressão de inóculo e condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do patógeno.

Por fim, a revisão evidencia que, para manter a eficácia dos triazóis e outros fungicidas no manejo da ferrugem asiática, é essencial a implementação de estratégias de manejo integrado, que combinem o controle químico com práticas agronômicas sustentáveis. A continuidade das pesquisas sobre a dinâmica de resistência e o desenvolvimento de novos fungicidas ou combinações de produtos também é vital para garantir a sustentabilidade da produção de soja frente ao desafio representado pela ferrugem asiática.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para avançar no manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) com o uso de triazóis, é fundamental realizar pesquisas contínuas sobre a resistência do patógeno aos fungicidas. Estudos regulares sobre a evolução da resistência e a identificação de novas cepas resistentes são essenciais para aprimorar as estratégias de controle. A investigação dos mecanismos moleculares de resistência também pode fornecer informações valiosas para a adaptação das práticas de manejo e o desenvolvimento de fungicidas mais eficazes.

Além disso, é necessário desenvolver e avaliar novos fungicidas e combinações de produtos que ofereçam maior eficácia e reduzam o potencial de resistência. Pesquisas focadas em fungicidas com mecanismos de ação distintos e em misturas que complementem os triazóis são importantes para melhorar a eficácia do controle da doença. Estudos de campo e laboratoriais devem ser realizados para validar a eficácia desses novos produtos em diferentes condições ambientais e níveis de pressão de doença.

A adoção de estratégias de manejo integrado, que combinam o uso de triazóis com práticas culturais, biológicas e físicas, deve ser investigada. A pesquisa deve explorar métodos para reduzir a pressão do inóculo, como rotação de culturas, uso de variedades resistentes e aplicação de fungicidas em momentos otimizados. Tais estratégias podem contribuir para um manejo mais eficaz e sustentável da ferrugem asiática.

É igualmente importante estudar a interação entre condições ambientais e a eficácia dos triazóis. Pesquisas devem analisar a influência de variáveis como temperatura, umidade e precipitação sobre a performance dos fungicidas. Além disso, a avaliação dos impactos de diferentes momentos e frequências de aplicação é crucial para otimizar os programas de controle e melhorar os resultados.

Por fim, recomenda-se realizar estudos econômicos para avaliar o custo-benefício das diversas estratégias de controle da ferrugem asiática, incluindo o uso de triazóis e suas misturas. A análise da sustentabilidade das práticas de manejo e o impacto ambiental dos fungicidas também são essenciais para garantir que as estratégias adotadas sejam não apenas eficazes, mas também sustentáveis a longo prazo. Essas recomendações visam aprimorar o conhecimento e a prática no manejo da ferrugem

asiática, contribuindo para um controle mais eficaz e duradouro da doença na cultura da soja.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.M. **Doenças da soja I: Ferrugem asiática**. Universidade de Passo Fundo. 45 p. 2005.

ANDRADE, T. (ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Ed. Meneses, 2009.

BOITEUX P., H., N**. Associação de mancozebe com formulações comerciais mistas de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Grande Dourados. 69 p. 2016.

BONATO, Emidio Rizzo; BONATO, Ana Lidia Variani. **A soja no Brasil: história e estatística**. 1987.

CAMARGOS, Y. **Ferrugem Asiática da Soja - importância na cultura**. Arapongas, São Paulo. 8p. (Comunicado Técnico). 2017.

CALDWELL, A. C. N. **Systemic and protective fungicides on control of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*).** Congresso Brasileiro de Fitopatologia. Tratamento químico: Anais. Maceió, AL: Universidade Federal de Alagoas, 2002.

CARVALHO, **H.Sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* fungicidas**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Agronomia) - Universidade de Rio Verde. Orientador: Luís Henrique Carregal Pereira da Silva. 2014.

CONAB. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: CONAB, 2019.

FIALLOS, L. H. C. P. Control of asian soybean rust with mancozeb, a multi-site fungicide. **Summa Phytopathologica,** v. 41, n. 1, p. 64 - 67, 2015.

GARCIA, B. **Associação do mancozebe com triazóis e estrobilurinas no controle do míldio e da ferrugem asiática da soja.** Chapadão do Sul- MS. 2017.

GODOY, C. V. et al. **Para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2012/13**: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. 2017.

GOELLNER, J.T. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, v. 89, p. 675–677, 2005.

GOULART N. **Triazóis isolados no manejo de Ferrugem Asiática da soja**. Universidade Federal do Tocantins, 37p. 2022.

HARTMAN, G.L.; SIKORA, E.J.; RUPE, J. C. R. **Compendium of soybean diseases and pests.** 5. ed. Saint Paul: APS Press, 2015.

HEATH, M. T. **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, 2001.

KOCH, E. M. Control of asian soybean rust with mancozeb, a multi-site fungicide. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 2, p. 64 - 167, 2015.

LANGENBACH, L. **Produtos fitossanitários (fungicidas, inseticidas, acaricidas e herbicidas)**. Viçosa: UFV, 2016.

MARTINS, P. R. Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel Através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras. **Quimica Nova**, v. 23, n. 4, p. 431–537, 2016.

MAUDE, H. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**, v. 28, n. 9, p. 124-212, 2010.

MCGRATH, C.V. et al. **Eficiência de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 20010/11**. Resultado sumarizados dos ensaios cooperativos. Circular Técnica 87, Embrapa, Londrina-PR. 8p. 2011.

PINHEIRO, Q. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira de grãos.** V.7, Safra 2019/20, no 9, nono levantamento. Brasília-DF, 1-31p. 2020.

REIS, 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- 86.

SILVA, L.H.C.P. **Ferrugem asiática na safra 2005/06**. Informe COMIGO, ano XX, março, p-5. 2006.

SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L. Soybean rust. In: HARTMAN, G.L.; SINCLAIR, J.B.; RUPE, J.C. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**. 4. ed. Saint Paul MN. APS Press. p. 25-100, 1999.

SOUZA, R. D. T. **O desempenho dos pacotes agrícolas no Brasil: uma análise da dinâmica de exportação da soja 1995-2013**. In: VIII Congresso da SOBER, 2013.

TECNOLOGIAS, V. M. **Fungicidas Protetores no Manejo da Ferrugem da Soja, Processos Fisiológicos e Produtividade da Cultura**. 2016. Uberlândia, 2016.

YANG X.B.; TSCHANZ A.T.; DOWLER W.M.; WANG T.C. **Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi***. Phytopathology, v.81, p.1420-1426, 1991.

YORINORI, C. M. Introdução e evolução da soja no Brasil- No Estado do Rio Grande do Sul. In: MIYASAKA, S. E MEDINA, J. C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas, SP: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2005. p. 18–50.