

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

RENATO ANASTÁCIO GUAZINA

**USO DO SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA
DA SOJA**

CHAPADÃO DO SUL – MS
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

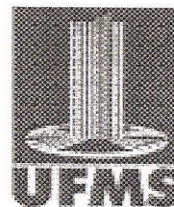
RENATO ANASTÁCIO GUAZINA

**USO DO SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA
DA SOJA**

Orientador: Prof. Dr. Gustavo de Faria Theodoro

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia,
área de concentração: Produção
Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS
2014



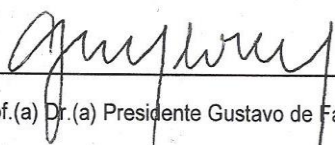
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Câmpus de Chapadão do Sul

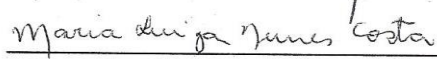
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

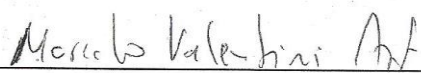
DISCENTE: Renato Anastacio Guazina

ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Gustavo de Faria Theodoro

USO DO SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA NA
CULTURA DA SOJA


Prof.(a) Dr.(a) Presidente Gustavo de Faria Theodoro


Prof.(a) Dr.(a) Maria Luiza Nunes Costa


Prof.(a) Dr.(a) Marcelo Valentini Arf

Chapadão do Sul, 18 de Novembro de 2014.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por me conceder sabedoria e discernimento para que eu conseguisse alcançar mais essa conquista.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade da realização deste curso.

Ao professor Dr. Gustavo de Faria Theodoro pela orientação e ensinamentos, enfim, pela sua contribuição em meu desenvolvimento profissional.

Ao professor Dr. Luis Gustavo Amorim Pessoa pela orientação na avaliação de lagartas desfolhadoras realizadas no segundo experimento.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos membros da banca, Pesquisador Dr. Marcelo Valentini Arf e Professora Dr. Maria Luiza Nunes Costa, pelas importantes contribuições.

Aos meus pais, Alberto Jorge Maciel Guazina e Rose Mari Anastácio Guazina, pelo incentivo e apoio durante minha vida. A eles sou eternamente grato pela dedicação, amor e por estarem ao meu lado em cada passo, a cada conquista. Sem eles nada seria possível.

Ao meu irmão Bruno Anastácio Guazina pelo companheirismo, amizade e apoio em todos os momentos.

Ao graduando em agronomia Rafael Antônio (Alemão) pela colaboração nas atividades desenvolvidas neste trabalho.

Em fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

GUAZINA, Renato Anastácio. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Uso do silício no controle da ferrugem asiática na cultura da soja. Professor orientador: Gustavo de Faria Theodoro

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa de grande importância econômica e é cultivada em várias partes do mundo, principalmente nos Estados Unidos e no Brasil. O Brasil mantém a posição de segundo maior produtor de soja, sendo a cultura com maior área cultivada no País e que, atualmente, encontra-se em expansão principalmente nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste. O rendimento da soja pode ser influenciado por fatores como fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, sistema de cultivo, potencial produtivo da cultivar e manejo de plantas daninhas, pragas e doenças. Atualmente, a principal doença é a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, que em condições favoráveis para seu desenvolvimento pode comprometer em até 100% da produtividade de grãos. Estudos de métodos alternativos de controle da ferrugem asiática são raros. Entretanto, alguns trabalhos revelam que a aplicação de silício, via foliar, reduz a severidade de doenças em diversas espécies de planta, inclusive da ferrugem asiática na soja. Dada à relativa carência de informações sobre o uso do silício no controle da ferrugem asiática, este trabalho objetivou: estudar a eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função da aplicação do silicato de alumínio isolado ou combinado com fungicida (Capítulo 1); e avaliar a eficiência da aplicação de silicato de alumínio em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja para o controle da ferrugem asiática (Capítulo 2). Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), durante a safra 2012/2013. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial $[(2 \times 6) + 2]$. O primeiro fator representado por dois cultivares de soja e seis programas de controle (Capítulo 1). No Capítulo 2, o delineamento foi o de blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial $[(2 \times 3) + 2]$, sendo duas cultivares de soja e três programas de controle. Constatou-se, que a primeira aplicação de silicato de alumínio em R1 e a segunda aplicação com fungicida em R4 ou R5.1 foram mais eficientes no controle da ferrugem asiática da soja. O uso de silício reduziu o número de lesões com urédias, número de urédias por lesão e o número de urédias abertas em folíolos de soja (Capítulo 1). A aplicação de silicato de alumínio foi capaz de reduzir a severidade da ferrugem asiática e a AACPD. Houve incremento na produtividade de grãos quando foram realizadas três e quatro aplicações de silicato de alumínio. O uso desse produto reduziu o nível populacional de lagartas desfolhadoras, bem como, possibilitou a redução do número de aplicações de inseticidas (Capítulo 2).

PALAVRAS-CHAVE: *Phakopsora pachyrhizi*. *Glycine max*. Silicato de alumínio.

ABSTRACT

GUAZINA, Renato Anastácio. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Silicon use in the control of Asian rust in soybean.

Adviser: Gustavo de Faria Theodoro

Soybean (*Glycine max*) is a legume of great economic importance and is cultivated in many parts of the world, especially the United States and Brazil. The Brazil holds the second largest soybean producer position, and culture with greater acreage in the country and currently is expanding mainly in the Midwest, North and Northeast. Soybean yield can be influenced by factors such as soil fertility, water availability, cultivation system, productive potential of farming and weed management, pests and diseases. Currently, the main disease is the rust caused by *Phakopsora pachyrhizi*, which in favorable conditions for its development may affect up to 100% of grain yield. Studies of alternative methods of soybean rust control are rare. However, some studies show that the application of silicon in the leaf, reduces disease severity in several plant species, including Asian rust in soybean. Given the relative lack of information about the use of silicon in control of soybean rust, this study aimed: to study the efficiency of the control of Asian soybean rust due to the application of insulated aluminum silicate or combined with fungicide (Chapter 1); and evaluate the efficiency of aluminum silicate slag at different growth stages of soybean for control of soybean rust (Chapter 2). The experiments were conducted in Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS), during the 2012/2013 harvest. The experimental design was a randomized complete block design with five replications in factorial scheme [(2x6) +2]. The first factor represented by two soybean cultivars six control programs (Chapter 1). In Chapter 2, the design was a randomized complete block design with five replications in factorial scheme [(2x3) +2], two soybean cultivars and three control programs. It was noted that the first application of aluminum silicate in R1 and the second fungicide application in R5.1 or R4 were more effective in controlling Asian soybean rust. The use of silicon reduced the number of uredias lesions, number of lesions per uredias and the number of open uredias in soybean leaflets (Chapter 1). The use of aluminum silicate was able to reduce the severity of AACPD and Asian rust. There was an increase in grain yield when three four applications of aluminum silicate were performed. The use of this product reduced the population level of defoliating caterpillars, as well as possible to reduce the number of insecticide applications (Chapter 2).

KEY-WORDS: *Phakopsora pachyrhizi*. *Glycine max*. Silicate of aluminum.

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Valores médios das avaliações de severidade da doença e da Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença (AACPD) para os fatores Cultivar e Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.	26
2 Valores médios da segunda e terceira avaliação de severidade e área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) para a interação Cultivar x Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.	27
3 Valores médios do número de lesões com urédias (NLU), número de urédias por lesão (NUL) e número de urédias abertas (NUA) em folíolos para os fatores Cultivar e Programa. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.	29
4 Valores médios do número de urédias por lesão (NUL) e número de urédias abertas (NUA) em folíolos para a interação Cultivar x Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.	30
5 Valores médios de desfolha (%) e produtividade (kg ha ⁻¹) em relação aos fatores Cultivar e Programa de Controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.	32
6 Programas de controle e doses aplicadas em cultivares de soja para o controle de ferrugem asiática. Chapadão do Sul, MS, 2012/2013.	39
7 Valores médios das avaliações de severidade da doença e da Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença (AACPD) para os fatores Cultivar e Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.	42
8 Valores médios das avaliações de desfolha (%) e produtividade (kg ha ⁻¹) para os fatores Cultivar e Programa	43

	de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.....	
9	Número médio de lagartas desfolhadoras (Lepidoptera) em plantas de soja nos diferentes programas de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 A cultura da soja.....	3
2.2 Doenças que ocorrem na soja.....	5
2.2.1 Ferrugem asiática da soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>).....	7
2.2.1.1 Histórico da doença.....	7
2.2.1.2 Etiologia.....	8
2.2.1.3 Epidemiologia.....	9
2.2.1.4 Hospedeiro alternativo.....	10
2.2.1.5 Sintomatologia.....	11
2.2.1.6 Controle.....	12
2.3 Silício.....	14
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DO USO ISOLADO E COMBINADO COM FUNGICIDA NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....	21
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	21
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4 CONCLUSÕES.....	32
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DO USO DE SILÍCIO ISOLADO EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA.....	36
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	36
1 INTRODUÇÃO.....	37
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4 CONCLUSÕES.....	45

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
-----------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma cultura de origem oriental, no entanto, sua produção é mais concentrada no ocidente, mais precisamente nos Estados Unidos e Brasil, devido às condições edafoclimáticas favoráveis ao seu cultivo. O Brasil mantém a privilegiada posição de segundo maior produtor de soja, com cerca de 30% do total mundial (safra 2013/14), sendo a cultura com maior área cultivada no País e que, atualmente, encontra-se em expansão principalmente nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (FIESP, 2013). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2014) foram cultivados em torno de 30,1 milhões de hectares de soja na safra 2013-2014, com uma produção em torno de 86,05 milhões de toneladas.

Em contrapartida, o rendimento da soja pode ser influenciado por fatores como fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, sistema de cultivo, potencial produtivo da cultivar e manejo de plantas daninhas, pragas e doenças (BARBO, 1980). No tocante às doenças, têm-se verificado sérias perdas, sendo que a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) é a principal causa de inúmeros prejuízos, que englobam compra de fungicidas, os custos operacionais das aplicações bem como as perdas de produção (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2014).

Visando minimizar as perdas geradas pela ferrugem, muitos têm sido os estudos com intuito de manejo e controle dessa doença. Segundo Cassetari Neto (2010), os tratamentos fungicidas da parte aérea da planta têm sido utilizados como principal ferramenta e tática de controle. Em condições climáticas favoráveis e sob alta pressão de inóculo, um número elevado de pulverizações é exigido para o controle da doença, necessitando de até 4 aplicações durante o ciclo da cultura, o que onera o custo de produção (KOGA, 2011).

O uso contínuo de fungicidas associado à variabilidade genética do patógeno pode levar ao surgimento de populações resistentes (TSCHURTSCHENTHALER et al., 2012). Uma estratégia para evitar o surgimento de populações resistentes é a integração de outros métodos de controle, como por exemplo, a resistência da planta hospedeira. Dentro da

resistência de plantas, a resistência induzida, que consiste no aumento do nível de resistência da planta por meio da utilização de agentes externos, sem qualquer alteração do genoma da planta é uma alternativa de controle de fácil manejo.

Um indutor de resistência bastante estudado é o silício (Si), elemento não essencial para a planta (PRADO, 2008), porém, pode conferir resistência a diversas doenças em plantas mono e dicotiledôneas (SANTOS et al. 2011; SANTOS et al., 2010). Acredita-se que a redução da severidade das doenças, quando o Si é depositado nas folhas ocorre pela formação de uma barreira física a patógenos pela deposição do Si na superfície da folha, que previne a penetração de patógenos nos tecidos da planta (CAI et al., 2008; RODRIGUES et al., 2004).

Para o patossistema *Phakopsora pachyrhizi* - soja são poucos os estudos com Si no controle dessa enfermidade. Desta forma, conduziu-se este trabalho, com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de silício, via foliar, no controle da ferrugem asiática da soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da soja

A soja é a uma leguminosa originária das regiões norte e central da China, onde foi domesticada há milhares de anos, tornando-a uma das plantas cultivadas mais antigas. Para os povos antigos, o grão da soja era tão importante, juntamente com o trigo, o arroz, o centeio e o milheto, que era considerada um grão sagrado, com direito a cerimoniais ritualísticos na época da sementeira e colheita. No início do século XX, os pesquisadores descobriram que o grão apresentava elevado valor proteico e era rico em óleo, assim elevando seu prestígio como alimento humano e animal. Então, na década de 20 do século passado, agricultores americanos iniciaram o cultivo da soja em larga escala, que era usada principalmente como um insumo para ração animal. No Brasil, a soja foi introduzida na Bahia em 1882 e depois, na região sul do país, onde apresentou melhor adaptação, face às condições climáticas mais semelhantes aquelas das regiões tradicionais de cultivo (EMBRAPA, 2014). Através de programas de melhoramento genético foram desenvolvidos cultivares melhor adaptadas às condições do Brasil (SEDIYAMA et al., 2005) e seu cultivo avançou por todo o país, principalmente para o Centro-Oeste e regiões Norte e Nordeste, levando o Brasil de uma posição inexpressiva no cenário mundial para a de segundo maior produtor e exportador de soja em grão, farelo e óleo (CONAB, 2014).

A soja pertence à classe Dicotyledoneae, família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Glycine* e a forma cultivada é a espécie *Glycine max* (L.) Merrill (SEDIYAMA, 2009). Morfologicamente, é uma planta herbácea, ereta e pode apresentar três tipos de hábitos de crescimento, sendo um tipo chamado de determinado, caracteriza-se pela finalização do crescimento vegetativo a partir do início do florescimento. Outro tipo de hábito de crescimento é definido com indeterminado sendo caracterizado pela continuação do crescimento vegetativo após início do florescimento. No terceiro e último tipo de hábito de crescimento é o semi-determinado, que se assemelha ao indeterminado, sendo

que o florescimento tem início quando aproximadamente metade dos nós da haste principal já se formou, mas o florescimento e o desenvolvimento de novos nós terminam mais abruptamente do que nos tipos indeterminados (SEDIYAMA et al., 2005). A planta de soja é essencialmente uma espécie autógama, ou seja, não ocorre à troca de gametas entre indivíduos distintos e provavelmente são geneticamente idênticos. A polinização cruzada quando ocorre em uma população não supera 1% (BORÉM et al., 1999).

O ciclo da soja, da germinação à maturação fisiológica, pode variar de 75 a 200 dias, e podem ser classificados em grupos de maturação precoce, semiprecoce, médio e tardio. O ciclo da planta é dividido em duas fases, vegetativo e reprodutivo (designados às letras V e R, respectivamente), as quais são fracionadas em índices numéricos que identificam estádios específicos, nessas duas fases do desenvolvimento da planta (FARIAS et al., 2007).

A emergência da plântula ocorre entre quatro e dez dias após semeadura, dependendo das condições de umidade, temperatura e da profundidade de semeadura. O período vegetativo se estende até o início da floração (40 a 70 dias). O período de floração pode variar de sete a 15 dias, quando se inicia o crescimento do fruto. A maturação fisiológica dos grãos ocorre de 40 a 70 dias após o final da floração (COSTA, 2005).

A época de semeadura recomendada para soja, na maioria dos estados produtores do Brasil se situa entre meados de outubro e meados de dezembro, preferencialmente em novembro (FIETZ & RANGEL, 2008; MOTTA et al., 2002). De forma geral, a época de semeadura deve favorecer a ocorrência de temperaturas compreendidas entre 20°C e 30°C, principalmente às mais próximas de 30°C, além de possibilitar uma precipitação de 450 a 800 mm/ciclo (CÂMARA et al., 1997; FARIAS et al., 2007).

Vários fatores do solo, planta e do ambiente interagem entre si determinando a produtividade da cultura. O crescimento da produção e o aumento da capacidade produtiva da soja brasileira estão aliados aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias para o setor produtivo (SOUZA et al., 2008). Porém, alguns fatores ainda podem limitar o máximo potencial

produtivo das cultivares, como no caso das pragas e doenças que incidem sobre a cultura (GOMES, 1990).

2.2 Doenças que ocorrem na soja

Como toda cultura exótica, a soja iniciou sua expansão no Brasil com excelente sanidade. No entanto, em poucos anos de cultivo as doenças começaram a surgir, passando a representar um dos fatores limitantes no aumento e na estabilidade de rendimento, causando perdas de 15% a 20%, entretanto, algumas doenças podem ocasionar perdas de quase 100% (YORIONORI, 2000).

A ocorrência de qualquer doença depende da interação entre hospedeiro, patógeno e ambiente. Na cultura da soja, o fator ambiente, ou seja, as condições climáticas durante a safra faz com que as doenças predominantes variem sua intensidade de uma safra para outra. Historicamente, no Brasil, a soja já passou por diversas epidemias, por exemplo, na década de 1970, a doença mancha-olho-de-rã, causada por *Cercospora sojina*, foi à primeira doença de impacto nacional, por ter sido responsável por grandes perdas nas lavouras, mas, atualmente, graças à utilização de cultivares resistentes, está sob controle (JULIATTI et al., 2006; MARTINS FILHO et al., 2002). Sua ocorrência tem sido esporádica e está limitada ao sul do Maranhão e norte de Goiás (CASSETARI NETO et al., 2010).

Outra doença de grande importância, entre a década de 1970 e a década de 1980, foi a “morte em reboleira”, causada por *Rhizoctonia solani*, patógeno que habita o solo com vasto número de hospedeiro (ALMEIDA et al., 2005). A doença foi um dos fatores mais limitantes em diversas lavouras da região Sul do país, no entanto, a morte em reboleira só é vista esporadicamente, nos dias atuais, em algumas lavouras no Rio Grande do Sul e Mato Grosso (CASSETARI NETO et al., 2010).

A partir da safra de 1988/89 e até a safra de 1995/96, o cancro da haste da soja (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*/*Phomopsis phaseoli* f. sp. *meridionalis*) foi a principal doença da soja em nível nacional. Atualmente, a

doença está sob controle através do uso de cultivares resistentes ou tolerantes. Porém, ainda é possível encontrá-la em lavouras de cultivares não totalmente resistentes e naquelas suscetíveis, introduzidas em regiões de clima favorável, nos Cerrados e na região Sul (sul do Paraná e Rio Grande do Sul). Da mesma forma que ocorreu com a mancha-olho-de-rã, os produtores adotaram a recomendação de trocar cultivares suscetíveis por cultivares resistentes somente após ter ocorrido grandes perdas de produção.

Em 1996/97 foi a vez do oídio (*Microsphaera diffusa*/*Erysiphe diffusa*) causar grandes perdas à soja. De uma doença comum e vista como de menor importância nas regiões de clima ameno no sul e áreas altas dos Cerrados, repentinamente atingiu níveis epidêmicos na maioria das regiões produtoras de soja do país (ALMEIDA et al., 2005). O oídio foi a primeira doença foliar que permitiu a recomendação do uso de fungicidas para controle das doenças da soja, já que nesta época havia fortes restrições ao uso desses produtos nas lavouras de soja, por parte dos órgãos oficiais de pesquisa e extensão rural (SARTORATO & YORINORI, 2001). Entre os fungicidas tradicionalmente aplicados contra o oídio citam-se o enxofre elementar, tiabendazol, benomil, tiofanato metílico e o clorotalonil. Nos últimos anos outros fungicidas são utilizados para o controle da doença como tebuconazol, carbendazim, propiconazol e difenoconazol (BLUM et al., 2002). Curiosamente, medidas alternativas de controle vêm apresentando resultados semelhantes ao controle químico, como no caso da aplicação de leite de vaca integral, quando utilizado na concentração de 180 mL L⁻¹, têm sido eficaz no controle do oídio da soja, relatam Alves et al. (2013).

Mais recentemente, o mofo branco, causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, vem causando importantes perdas de produção principalmente nos planaltos da região central do Brasil, notadamente em locais com alta umidade no solo e temperaturas amenas, no entanto, essa doença sempre esteve presente nas lavouras (CASSETARI NETO et al., 2010). Mesmo antes do início da expansão da cultura da soja, no final de 1960, a doença já era causa de preocupação nas lavouras de feijão na região Sul do Brasil e nas regiões altas dos Cerrados. Além da soja e do feijão este fungo pode atacar mais de 400 hospedeiros, dentre eles alguns de importância agrícola, como girassol, amendoim, algodão e tomate, tornando difícil seu controle através da

rotação de culturas (DELHEY et al., 2009; PAULA JÚNIOR et al., 2006). O controle químico como medida isolada também não tem obtido sucesso, já que esbarra na dificuldade de atingir a parte interna da folhagem, fazendo-se necessário o emprego de outros métodos conjuntamente para alcançar resultados satisfatórios que possibilitem manejar esta doença (GÖRGEN et al., 2009).

Na atualidade, indubitavelmente, a ferrugem asiática da soja é uma das doenças com maior potencial de dano - comprometendo em até 100% da produtividade de grãos - devido a sua alta virulência e velocidade de disseminação (ANDRADE & ANDRADE, 2002). Os maiores danos são observados quando a ferrugem asiática atinge grandes percentuais de severidade, capazes de promover a desfolha precoce das plantas de soja e provocar o abortamento e queda das vagens (YORINORI et al., 2003). Segundo Juliatti et al. (2005) relatam que as perdas podem chegar até a 25 sacos por hectare, quando a incidência do patógeno chega a 100% e a severidade a 25%.

No período de 2001 (início do surgimento da doença) a 2013, a estimativa da importância econômica da ferrugem asiática atingiu o montante de mais de 21 bilhões de dólares. Os itens computados foram o volume de grãos perdido, o custo do controle da doença (média de 2,6 aplicações de fungicidas por safra) e a perda de arrecadação de impostos sobre grãos perdidos (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2014).

2.2.1 Ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)

2.2.1.1 Histórico da doença

Considerada a pior doença da soja a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, originária do Oriente (China) e tradicionalmente presente na maioria dos países da Ásia e na Austrália, foi detectada pela primeira vez fora desses países, no Havaí, em 1994. Em 1996, foi constatada no continente africano (Uganda), causando severos danos em

uma área experimental. Posteriormente, em 1998, atingiu plantações do Zimbábue e Zâmbia e foi também detectada na África do Sul, em 2001 (HENNING & GODOY, 2006). Ainda nesse mesmo ano, foi identificada no continente americano, no Paraguai e no Sul do Brasil (oeste e norte do Paraná), respectivamente, em março e maio (ANDRADE & ANDRADE, 2002; YORINORI et al., 2005). Na Bolívia (Santa Cruz), foi detectada em julho de 2003. Desde então, disseminou-se por todos os países produtores de soja do continente americano, sendo detectada nos Estados Unidos (Louisiana) em novembro de 2004 e no México, em outubro de 2005, tornando-se uma doença global da soja (LI et al., 2010; RODRÍGUES & RIOS, 2006). Essa grande capacidade de disseminação do fungo através do vento indica o alto grau de preocupação que os técnicos de campo e produtores de soja devem ter, a fim de conviverem com a ferrugem asiática a cada safra. O único estado produtor de soja no Brasil que continua sem relato da presença da ferrugem asiática é Roraima, localizado entre 3 e 4 graus de latitude Norte (SMIRDERLE & GIANLUPPI, 2011).

2.2.1.2 Etiologia

O agente causal da ferrugem asiática da soja tem como nome atual de *Phakopsora pachyrhizi* e, pertence ao Reino Fungi, Filo Basidiomycota, Ordem Uredinales e família *Phakopsoraceae*. Trata-se de um parasita biotrófico, ou seja, necessita de uma célula hospedeira viva para sobreviver. Outra espécie do gênero *Phakopsora* também é descrita como causadora da ferrugem na soja, a ferrugem americana (*P. meibomiae*), no entanto, ocorre em regiões de temperaturas mais amenas e raramente causa perdas econômicas (FIALLOS, 2011).

A diferenciação das espécies foi realizada através de análise morfológica de teliosporos de amostras herborizadas procedentes de diferentes países. As principais diferenças morfológicas entre as duas espécies estão nos teliosporos, já que a *P. pachyrhizi* apresenta teliosporos organizados de duas a sete camadas, enquanto as paredes dos esporos possuem coloração marrom amarelado pálido, com espessura relativamente uniforme de 1 mm podendo

apresentar-se levemente engrossados e, com até 3 mm de espessura nas células das camadas apicais, a *P. meibomiae*, por outro lado, apresenta teliosporos organizados de uma a quatro camadas, raramente cinco, enquanto os esporos possuem paredes cuja coloração pode variar de canela a castanho claras, com 1,5 a 2,0 mm de espessura. Entretanto, suas células da camada apical tem espessura de até 6 mm.

Apesar das diferenças morfológicas e sintomatológicas entre as duas espécies de *Phakopsora*, a identificação precisa só é possível com a utilização com a utilização de técnicas moleculares específicas para a diferenciação e identificação das espécies *P. pachyrhizi* e *P. meiboniae* (GOELLNER et al., 2010).

2.2.1.3 Epidemiologia

O fungo *P. pachyrhizi* é um parasita biotrófico que inicia sua infecção quando uredósporos germinam e emitem um tubo germinativo que cresce sobre a superfície da folha até que se forma um apressório, estrutura que permite ao patógeno penetrar no hospedeiro. Esse patógeno tem a habilidade de penetrar diretamente através da cutícula, principalmente nas junções das células da epiderme ao contrário das outras ferrugens que penetram através dos estômatos. No interior do tecido do hospedeiro, a hifa fúngica forma uma estrutura especializada, denominada haustório, que penetra a parede celular vegetal para a absorção de nutrientes (MAGNANI et al., 2007). Esse processo de infecção ocorre em até 48 horas após a deposição dos uredósporos, relata Bergamin Filho (2006).

No período de seis a nove dias após a infecção, já é possível visualizar as urédias, estruturas de frutificação do patógeno (ALVES et al., 2007). Os esporos do fungo podem ser produzidos por até duas semanas. De uma infecção inicial, estima-se que uma primeira geração de lesões pode manter a esporulação por até quinze semanas, mesmo sob condições de baixa umidade (REIS et al., 2006).

O sucesso da infecção é dependente principalmente da disponibilidade de molhamento da folha. Pelo menos seis horas de água livre parecem ser

necessárias para promover a infecção. O fungo pode infectar a planta em temperaturas variando de 15 a 28° C, com faixa ótima oscilando entre 22 a 24° C (ALVES et al., 2007). Chuvas abundantes e frequentes durante o desenvolvimento da doença têm sido associadas com epidemias mais severas (DEL PONTE et al., 2006). Segundo Bergamin Filho (2006) as gotas de chuvas exercem o papel de liberar os uredósporos das urédias, seja pelo efeito do splash, seja pelo impacto que causam nas folhas.

Após a liberação os uredósporos são facilmente disseminados pelo vento, podendo ser transportados a longas distancias através de massas de ar. Yorinori et al. (2003) acreditam que os esporos do fungo *P. pachyrhizi* tenham chegado ao Brasil atravessando o oceano atlântico, vindo dos países do sul da África, por meio de correntes de ar.

O fungo *P. pachyrhizi* por ser um parasita obrigatório, não sobrevive em restos de culturais ou na ausência de hospedeiro. Sua sobrevivência na entressafra ocorre em hospedeiros alternativos ou em plantas voluntárias (tiguera ou guaxas). Os esporos do patógeno podem sobreviver por até 11 semanas na ausência do hospedeiro principal, relatam Beledelli et al. (2012).

2.2.1.4 Hospedeiro alternativo

O fungo *P. pachyrhizi* além de infectar plantas de soja é capaz de se multiplicar em uma grande quantidade de espécies de plantas, principalmente quando as condições de temperatura favorecem seu desenvolvimento, possibilitando a sobrevivência ano após ano, servindo como fonte de inóculo para safras vindouras. Na literatura existem inúmeros relatos de plantas hospedeiras, sendo observadas 37 espécies de plantas hospedeiras em diferentes localidades do mundo (HENNING & GODOY, 2006).

No Brasil, são encontradas algumas espécies de hospedeiras alternativas, sendo elas a ervilhaca (*Vicia sativa* L.), feijão miúdo (*Vigna unguiculata*), fedegoso (*Senna occidentalis*), crotalária (*Crotalária juncea*), feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), mucuna preta (*Mucuna aterrima* L.), labe-labe (*Dolichos lablab* L.), feijão de porco (*Canavalia ensiformes* D.C.) e ervilha (*Pisum sativum*). Por termos um clima tropical, as condições climáticas ainda

são consideradas quase constantes, o que favorece o desenvolvimento dessas plantas e do patógeno o ano todo (SOUZA, 2007).

2.2.1.5 Sintomatologia

Os sintomas da ferrugem asiática na cultura da soja são observados em todo o dossel da planta, todavia os sintomas iniciais são mais comumente observados nos trifólios do terço inferior da planta e na face inferior (abaxial) da folha, mas podem ocorrer também na parte superior (adaxial). Os primeiros sintomas aparecem como pequenas pontuações angulares com menos de 1 mm, de coloração cinza-esverdeada ou castanho-clara que gradualmente mudam para marrom a marrom-escuro, antes das pústulas da ferrugem se tornar saliente e entrarem em erupção (CASSETARI NETO et al., 2010).

No centro das lesões aparecem minúsculas estruturas salientes, as quais constituem as pústulas (urédias). As lesões são mais numerosas na base e nas bordas dos folíolos das folhas, por serem áreas com maior umidade e por haver microclima favorável ao desenvolvimento do patógeno.

Os sintomas da ferrugem podem ser confundidos com a septoria (*Septoria glycines* Hemmi), doença incluída no complexo de doenças de final de ciclo, porém a ferrugem difere desta por apresentar coloração mais avermelhada e pela ausência de halos amarelos nas lesões. Há ainda, duas doenças que podem ser confundidas com a ferrugem, o crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*) e o crestamento foliar de cercospora (*Cercospora kikuchii*). A ferrugem difere destas pela ausência de halo amarelo nas lesões (FIALLOS, 2011).

As lesões da doença nas folhas podem ser classificadas como TAN, apresentando coloração castanha ou em RB (Reddish Brown) apresentando coloração marrom-avermelhada (GOELLNER et al., 2010). As lesões TAN caracterizam genótipos suscetíveis à ferrugem, enquanto as lesões RB caracterizam a reação de resistência dos genótipos (MILES et al., 2011).

A identificação do patógeno na lavoura pode ser visualizada olhando através da folha contra o sol ou sobre um fundo claro. Outra forma de identificação é com auxílio de lupa de mão (aumento de 20 a 30 vezes) ou sob

um microscópio estereoscópico. A correta identificação da doença é de suma importância para definir o método de controle.

2.2.1.6 Controle

Vários métodos de controle são utilizados objetivando diminuir as perdas na produção de soja ocasionadas por essa enfermidade. O controle da ferrugem asiática consiste na utilização de cultivares precoces e semeadura no início da época indicada para cada região, com o objetivo de escapar do período de maior risco para a ocorrência da doença e evitar que a cultura fique exposta por mais tempo no campo; uso de densidades de plantio que favoreçam o bom arejamento foliar e a maior penetração dos fungicidas no interior do dossel da cultura (CASSETARI NETO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2005).

Uma estratégia utilizada no manejo desta doença é o vazio sanitário, que se trata da proibição por lei do cultivo da soja no período da entressafra, exceto para cultivos da soja para pesquisa e avanço de gerações de linhagens de cruzamentos, sob rigoroso controle da ferrugem e com prévia autorização dos órgãos de defesa sanitária. A eliminação de plantas de soja voluntárias (guaxas) nas lavouras e das estradas vicinais que margeiam as propriedades também é exigida pelos órgãos fiscalizadores (SOARES, 2007). Assim, o vazio sanitário visa à redução do inóculo inicial do patógeno e o atraso do início da epidemia (MUCHALAK et al., 2010).

Esse período, que se denominou de vazio sanitário, começou a ser adotado em 2006 nos Estados de Mato Grosso e Goiás, e a partir de 2008 tornou-se obrigatória nos Estados de Mato Grosso do Sul, Bahia, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, São Paulo, Tocantins, Paraná e Santa Catarina. Em Mato Grosso do Sul o período foi definido entre 1 julho e 15 de setembro, com algumas variações de início e do fim do período, dependendo do estado (CONSORCIO ANTIFERRUGEM, 2014)

Uma medida de controle econômico e efetivo da ferrugem é a obtenção de cultivares com alta resistência e produtividade. A resistência tem como característica a redução da taxa da epidemia, por meio da diminuição do

número e tamanho das lesões, da diminuição de esporos e do aumento do período latente. Isso faz com que a população do patógeno seja reduzida, diminui a quantidade de inóculo e consequentemente a intensidade da doença (SILVA et al., 2007).

Compete aos programas de melhoramento genético produzir e fornecer as cultivares com tecnologia agregada e resistente a ferrugem, representando menores custos de produção e menor utilização de defensivos agrícolas. Alguns trabalhos estão sendo desenvolvidos visando obter melhores metodologias para selecionar materiais com resistência/tolerância à doença com maior rapidez (LIMA et al., 2012a ; LIMA et al., 2012b). Atualmente está disponível no mercado as cultivares TMG 7188 RR, TMG 7161 RR, TMG 7262 RR com tecnologia Ino^x[®], que confere resistência a ferrugem (FUNDAÇÃO MT, 2014). Tem-se recomendado o uso dessas cultivares em associação com aplicações de fungicidas, para evitar o surgimento de patógenos resistentes, facilitando também o manejo da doença (OLIVEIRA et al., 2005).

Outro método de controle é o químico, através do uso de fungicidas no dossel da cultura, sendo até a presente data a ferramenta mais utilizada e importante para controlar o fungo e evitar reduções na produtividade e perdas ao produtor. Os principais fungicidas são dos grupos dos triazóis e das estrobilurinas ou mistura comercial de ambos. Apesar do aspecto curativo dos triazóis, as aplicações preventivas também têm permitido maior sucesso no controle da doença (GARCÉS-FIALLOS & FORCELINI, 2013). No Brasil, o número médio de aplicações varia muito entre regiões e entre safras em função da pressão da doença, desde o mínimo de um até o máximo de sete aplicações durante o ciclo da cultura, o que onera o custo de produção (KOGA, 2011). A pulverização foliar associado com o tratamento de sementes com fungicidas fluquinconazol e flutriafol pode ser uma ferramenta útil para o manejo da ferrugem asiática da soja, apesar desta técnica de aplicação de fungicidas não influenciar na produtividade das cultivares de soja (PIMENTA et al., 2011).

Métodos alternativos para o controle da ferrugem asiática vêm sendo estudados, visando ser mais uma ferramenta para o manejo integrado da doença e reduzir o impacto ambiental em relação ao controle químico. Costa et al. (2010) avaliaram o efeito de extratos botânicos obtidos de 11 plantas do

cerrado baiano sobre a germinação de uredósporos de *P. pachyrhizi* e observaram que os extratos de Timborno (*Himatantus articulatus*), Jurema Preta (*Mimosa bimucronata*), Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*), Peroba (*Aspidiosperma polyneuron*) e Nim (*Azadirachta indica*) reduziram a germinação dos esporos a valores menores de 10%, sendo uma alternativa de controle da doença. No entanto, alguns extratos e óleos essenciais podem causar fitotoxidez à cultura da soja, comprometendo a capacidade fotossintética da planta e consequentemente reduzindo a produtividade (BIGATON et al., 2013).

O uso do silício também vem sendo estudado com uma alternativa de controle da ferrugem asiática. Segundo relato de Arsenault-Labrecque et al. (2012) mostra que cultivares de soja (Hikmok sorip, Majesta e Cristalina) tratadas com silício apresentaram maior resistência à doença em relação àquelas não tratadas.

2.3 SILÍCIO

O silício (Si) é um elemento mineral de interesse do ponto de vista do controle de doenças de plantas, uma vez que seu acúmulo nos tecidos vegetais está relacionado a uma redução na intensidade de diversas doenças causadas por patógenos necrotróficos, hemibiotróficos e biotróficos tanto em hospedeiros mono quando em dicotiledôneas (DATNOFF et al., 2007). Existem diversas fontes de silício que são utilizadas visando o controle de doenças de etiologia variada como, por exemplo, as escórias siderúrgicas, wollastonita, silicato de potássio, argila silicatada, metassilicato de sódio e ácido silícico (BOTELHO et al., 2005; GUAZINA & THEODORO, 2012; MARTINATI et al., 2007).

O acúmulo de silício proporciona barreiras mecânicas, incluindo mudanças na anatomia, como células mais grossas e um grau maior de lignificação e/ou silicificação. O Si parece, ainda, ativar mecanismos de defesa em resposta ao ataque de patógenos nas plantas, como o aumento na síntese de compostos fenólicos e das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e quitinase (LIANG et al., 2005).

Alguns pesquisadores têm confirmado que o emprego de silício reduziu a severidade de várias doenças de etiologia fúngica. Em arroz, uma planta modelo para estudos com este elemento mineral, o Si reduziu a severidade da brusone, da mancha parda e da queima das bainhas por meio da alteração de vários componentes epidemiológicos (DALLAGNOL et al., 2009; RODRIGUES et al., 2003). Pozza et al. (2004) observaram redução de 63,2% de folhas de café lesionadas por *Cercospora coffeicola* e de 43% no total de lesões por plantas quando se empregou 1 g de silicato de cálcio incorporando em 1 kg de substrato. Os autores relataram que nas plantas tratadas com silício houve inibição da germinação e penetração do patógeno devido o bom desenvolvimento da camada de cera nas folhas, deixando a superfície hidrofóbica, impedindo a formação de filme de água, importante para os processos vitais da patogênese. Botelho et al. (2011), também estudando o patossistema cafeeiro *C. coffeicola*, verificaram efeitos positivos quando empregou-se outra fonte de silício, o ácido silícico, via, solo, reduzindo a área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha em 29,5% da menor (0 g kg^{-1}) para a maior (6 g kg^{-1}) dose desta fonte.

Em experimento realizado por Domiciano et al. (2010) mostrou que adição de $0,3 \text{ g Si kg}^{-1}$ de solo, reduziu em 58,5% a área abaixo da curva do progresso da mancha marrom (AACPM) na cultura do trigo. No feijoeiro o fornecimento de silício via foliar ou incorporado ao substrato mostraram eficientes em controlar a antracnose, reduzindo a área abaixo da curva de progresso da incidência, além de proporcionar aumento na produção (MORAES et al., 2009; BRONHOLI et al., 2010). Plantas de soja supridas com 280 mg L^{-1} de silício tiveram redução de 24,3% na área abaixo da curva do número de lesões de ferrugem/cm² de área foliar (AACNL) em relação às plantas cultivadas sem a adição de silício (LIMA et al., 2010). Cruz et al. (2012) relatam que a redução na severidade da ferrugem asiática em plantas tratadas com Si está relacionado com a redução da urédias e da quantidade dessas estruturas reprodutivas do patógeno nos folíolos.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. M. R. et al. **Manual de fitopatologia. Volume 2: doenças das plantas cultivadas**. São Paulo, SP, 2005. p. 569-588.

ALVES, F. J. P. E. et al. Essential oils and whole milk in the control of soybean powdery mildew. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p. 1938-1944, 2013.

ALVES, M. C. et al. Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, Savana e Suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 3, p. 239-244, 2007.

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. A. **Ferrugem asiática: uma ameaça à soja cultura brasileira**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 11 p. 2002. (Circular Técnica n. 11).

ARSENAULT-LABRECQUE, G.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of silicon absorption on soybean resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in different cultivars. **Plant Disease**, v. 96, n. 1, p. 37-42, 2012.

BARBO, C. V. S. **Recomendações técnicas para a cultura da soja: região da grande Dourados, safra 1980/1981**. Dourados-MS: Embrapa, 1980. 53 p.

BELEDELLI, D. et al. Viabilidade de uredinióporos de *Phakopsora pachyrhizi* Sidow na ausência do hospedeiro. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 604-612, 2012.

BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa, MG, 2006. p. 15-32.

BIGATON, D. et al. Avaliação da atividade fungicida de extratos e óleos essenciais sobre ferrugem asiática da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 757-763, 2013.

BLUM, L. E. B. et al. Fungicidas e misturas de fungicidas no controle do oídio da soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 216-218, 2002.

BORÉM, A.; ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S. Hibridização em soja. In: BORÉM, A. **Hibridização artificial de plantas**. Viçosa: UFV, 1999, p. 443-462.

CAI, K. et al. Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. **Physiologia Plantarum**, v. 134, n. 2, p. 324-333, 2008.

CASSETARI NETO, D.; MACHADO, A. Q.; SILVA, R. A. **Manual de doenças da soja**. 2010. 54 p.

CÂMARA, G. M. S. et al. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agricola**, v.54, p. 149-154, 1997.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1, 2014.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. **Custo ferrugem asiática da soja**, 2014. Disponível em: <http://www.consortioantiferrugem.net/portal/?page_id=1347>. Acesso em: 19 de junho de 2014.

COSTA, S. X.; COIMBRA, J. L.; SANTOS, F. S. Efeito de extratos obtidos de plantas do cerrado baiano sobre a germinação de uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi*. **Magistra**, v. 22, n. 1, p. 71-74, 2010.

CRUZ, M. F. A. et al. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 142-145, 2012.

DALLAGNOL, L. J. et al. Defective active silicon uptake affects some components of rice resistance to brown spot. **Phytopathology**, v. 99, n. 1, p. 116-121, 2009.

DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul, 2007, p. 233-246.

DELHEY, R. et al. *Sclerotinia sclerotiorum* en plantas cultivadas e invasoras del sur pampeano y norte patagónico, Argentina. **Phyton**, v.78, n. 2, p. 111-115, 2009.

DEL PONTE, E. M. et al. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v. 96, n. 7, p. 797-803, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil**. 2014 Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 21 de junho de 2014.

FARIAS, J. R.B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina:Embrapa Soja, 1º ed., 2007, 9 p. (Circular Técnica, nº 48)

FIALLOS, F. R. G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow. **Ciencia y Tecnología**, v. 4, n. 2, p. 45-60, 2011.

FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Safra mundial de soja 2013/14 – 2º levantamento do USDA**. 2013.

FIETZ, C. R.; RANGEL, M. A. S. Época de semeadura da soja para a região de Dourados-MS, com base na deficiência hídrica e no fotoperíodo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 666-672, 2008.

FUNDAÇÃO MT. Cultivares Transgênicas Brasil Central. **Boletim de Pesquisa de Soja 2013/2014**, n. 16, p. 47-92, 2014.

GARCÉS-FIALLOS, F. R.; FORCELINI, C. A. Controle comparativo da ferrugem asiática da soja com fungicida triazol ou mistura de triazol + estrobilurina. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 805-815, 2013.

GOELLNER, K. et al. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. **Molecular Plant Pathology**, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2010.

GOMES, P. **A soja**. 5º ed. São Paulo, 1990. 149 p.

GÖRGEN, C. A. et al. Controle de mofo branco com palhada de *Brachiaria ruziziensis* e *Trichoderma harzianum* '1306' em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1583-1590, 2009.

GUAZINA, R. A.; THEODORO, G. F. Ação in vitro de fontes de silício sobre *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. In.: Encontro de Iniciação Científica da UFMS, 2012, Campo Grande, MS. **Anais** (CD-ROM). Campo Grande, MS, 2012.

HENNING, A. A.; GODOY, C. V.; Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e no Mundo. In: Zambolim, L. (Ed.) **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa, MG, 2006. p. 1-14.

JULIATTI, F. C. et al. Severidade de doenças fúngicas foliares em genótipos de soja em três locais de plantio. **Bioscience Journal**, v. 22, n. 1, p. 83-89, 2006.

JULIATTI, F. C. et al. Ferrugem da soja: epidemiologia e manejo para uma doença reemergente. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 13, p. 351-395, 2005.

KOGA, L. J. Chemical control and responses of susceptible and resistant soybean cultivars to the progress of soybean rust. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n. 5, p. 294-302, 2011.

LI, X. et al. The uniqueness of the soybean rust pathosystem: An improved understanding of the risk in different regions of the world. **Plant Disease**, v. 94, n. 7, p. 796-806, 2010.

LIMA, W. L. et al. Metodologias para obtenção de resistência e/ou tolerância da soja à ferrugem-asiática. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 1, p. 67-72, 2012 a.

LIMA, W. L. et al. Resistência da soja à ferrugem-asiática avaliada pela análise da produtividade de grãos. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 1, p. 73-78, 2012 b.

MAGNANI, E. B. Z.; ALVES, E.; ARAÚJO, D. V. Eventos dos processos de pré-penetração, penetração e colonização de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 156-160, 2007.

MARTINS FILHO, S.; GRAVINA, G. A.; SEDIYAMA, C. S. Controle genético da resistência da soja à raça 4 de *Cercospora sojina*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1727-1733, 2002.

MILES, M. R. et al. Characterizing resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean. **Plant Disease**, v. 95, n. 5, p. 577-581, 2011.

MOTTA, I. S. et al. Época de semeadura em cinco cultivares de soja. II. Efeito na qualidade fisiológica das sementes. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p. 1.281-6, 2002.

MUCHALAK, S. M. et al. Vazio sanitário: o parceiro do sojicultor. **Revista Plantio Direto**, v. XIX, p. 10-12, 2010.

OLIVEIRA, A. C. B.; GODOY, C. V.; MARTINS, M. C. Avaliação da tolerância de cultivares de soja à ferrugem asiática no Oeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 6, p. 658-662, 2005.

PAULA JÚNIOR, T. J. et al. **Manejo integrado do mofo branco do feijoeiro**. Viçosa, MG. 2006.

PIMENTA, C. B.; JULIATTI, F. C.; NUNES JÚNIOS, J. Efeito do tratamento de semente com fungicidas associado à pulverização foliar no controle da ferrugem asiática da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 4, p. 187-197, 2011.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, SP: Unesp, 2008, 407 p.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R.; CARMONA, M. **Doenças da soja! Ferrugem asiática**. Passo Fundo, PR, 2006.

RODRIGUES, F. A. et al. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, v. 93, n. 5, p. 535-546, 2003.

RODRIGUES, F. A. et al. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v. 94, p. 177-198, 2004.

RODRÍGUEZ, A. C.; RIOS, J. A. First report of asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* from Mexico. **Plant Disease**, v. 90, n. 9, p. 1260, 2006.

SANTOS, G. R. et al. Fontes e doses de silício na severidade do crestamento gomoso e produtividade da melancia. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 266-272, 2010.

SANTOS, G. R. et al. Effect of silicon sources on rice diseases and yield in the State of Tocantins, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 451-456, 2011.

SARTORATO, A.; YORINORI, J. T. Oídio de leguminosas: feijoeiro e soja. In: STADNIK, M. J.; RIVERA, M. C. **Oídios**, Campinas, SP, v. 1, 2001. p. 255-285.

SEDIYAMA, T. (Org.) **Tecnologias de produção e usos da soja**. 1. ed. Londrina, PR: Mecenias, 2009, v. 1, 314 p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005, p.553-604.

SILVA, V. A. S.; JULIATTI, F. C.; SILVA, L. A. S. Interação entre resistência genética parcial e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.9, p. 1261-1268, 2007.

SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, V. Relatos por Estado sobre o comportamento da cultura da soja na safra 2010/11 – Estado de Roraima. In: **Ata da XXXI Reunião de pesquisa de soja da região central do Brasil**. Londrina, PR, 305 p. 2010. (Documentos n. 324).

SOARES, R. M. Amenizada pelo vazio. **Revista Cultivar**, p. 8-10, 2007.

SOUZA, G. F. **Avaliação de nove espécies de leguminosa como hospedeiros alternativos de *Phakopsora pachyrhizi* Syd & P. Syd**. 2007. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2007.

TSCHURTSCHENTHALER, N. N. et al. Variabilidade genética de *Phakopsora pachyrhizi* avaliada por meio de marcadores microssatélites. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 181-186, 2012.

CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DO USO DO SILÍCIO ISOLADO E COMBINADO COM FUNGICIDA NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.

RESUMO

Com o objetivo de estudar a eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função da aplicação do silicato de alumínio isolado ou combinado com fungicida, foi conduzido o experimento no município de Chapadão do Sul – MS, durante a safra 2012/2013. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com cinco repetições e em esquema fatorial [(2x6)+2], sendo duas cultivares de soja e seis programas de controle, mais duas testemunhas (negativa e positiva). Após a análise de variância e teste de médias, verificou-se que a cultivar Anta 82 apresentou maior severidade e AACPD em relação a CD 2737. Entre os programas de controle constatou-se que a primeira aplicação de silicato de alumínio em R1 e a segunda aplicação com fungicida em R4 ou R5.1 foram mais eficientes no controle da ferrugem asiática da soja. O uso de silício reduziu o número de lesões com urédias, número de urédias por lesão e o número de urédias abertas em folíolos de soja.

PALAVRA-CHAVE: *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine max*, controle fitossanitário.

CHAPTER 1 – EVALUATION OF SILICON ISOLATED OR COMBINED WITH FUNGICIDE TO CONTROL OF ASIAN SOYBEAN RUST.

ABSTRAT

With the aim to study the efficiency of the control of Asian soybean rust due to the application of isolated aluminum silicate or combined with fungicide, the experiments were conducted in the municipality Chapadão do Sul - MS, 2012/2013 season. The experiment was conducted in a randomized block design with five replications and a factorial [(2x6)+2], with two soybean cultivars and six control programs, two controls (negative and positive). After analysis of variance and test, it was found that the cultivar Anta 82 showed greater severity and AACPD compared to CD 2737. Between control programs it was noted that the first application of aluminum silicate in R1 and the second fungicide application in R5.1 or R4 were more effective in controlling Asian soybean rust. The use of silicon reduced the number of uredias lesions, number of lesions per uredias and the number of open uredias in soybean leaflets.

KEY WORDS: *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine max*, disease and pest control.

1 INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) é a principal causa de inúmeros prejuízos na cultura da soja, causando um dispêndio aproximado de US\$ 2.1 bilhões na safra 2010/11, gastos que englobam compra de fungicidas, os custos operacionais das aplicações bem como as perdas de produção (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2014). Para reduzir os riscos de danos causados pela ferrugem asiática, as medidas de controles recomendadas são a destruição de hospedeiros secundários ou plantas de soja tiguera na entressafra, semeadura antecipada de cultivares de ciclo precoce, uso de cultivares com resistência e aplicações de fungicidas no dossel da cultura no início do aparecimento dos sintomas ou preventivamente (CASSETARI NETO et al., 2010).

Atualmente, o uso de fungicidas é o método mais empregado pelos produtores e no Brasil são necessárias em média 2,5 aplicações de fungicidas. Entretanto, em condições climáticas favoráveis e sob alta pressão de inóculo, um número elevado de pulverizações é exigido para o controle da doença, necessitando de até quatro aplicações durante o ciclo da cultura, o que onera o custo de produção (KOGA, 2011).

Além dessas medidas de controle, a pesquisa tem concentrado seus esforços para a obtenção de medidas alternativas (MESQUINI et al. 2011). Neste contexto, a nutrição mineral com base no fornecimento de silício (Si) torna-se uma alternativa para reduzir a intensidade de doenças em inúmeras espécies de plantas (BRANCAGLIONE et al., 2009; CRUZ et al., 2012; FORTUNATO et al., 2014). Na cultura da soja alguns estudos mostram que houve redução na severidade da ferrugem asiática quando houve o fornecimento de Si às plantas (PEREIRA et al., 2009). Lemes et al. (2011) verificaram redução de 43 e 36% na área abaixo da curva do progresso da ferrugem asiática, quando plantas de soja foram cultivadas em solo contendo silicato de cálcio ou foram pulverizadas com silicato de potássio. A associação de métodos de controle, entre adubação silicatada e fungicida, mostra-se uma alternativa viável no combate a doenças de plantas possibilitando reduzir os gastos com produtos químicos e reduzir os riscos de contaminação do ambiente (REIS et al., 2008). A resistência induzida pelo silício combina barreiras físicas e químicas, como a lignificação da parede celular e a produção

de compostos de defesa, dificultando a penetração e a colonização do patógeno na planta hospedeira (PEREIRA et al. 2009).

Diante do exposto, e buscando alternativas de controle ao fungo *Phakopsora pachyrhizi*, o objetivo da presente pesquisa foi estudar a eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função da aplicação do silicato de alumínio isolado ou combinado com fungicida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul, durante a safra 2012/2013. A semeadura foi realizada no dia 03 de dezembro de 2012 e utilizou-se como fertilizante de base 250 kg ha⁻¹ da formulação NPK, 00-20-20. Também realizou-se adubação de cobertura com cloreto de potássio (KCl) na dose de 45 kg ha⁻¹ no estágio fenológico V5. O delineamento empregado foi o de blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial [(2x6)+2]. O primeiro fator representado por dois cultivares de soja (Anta82 RR e CD2737 RR) e o segundo fator representado por seis programas de controle, e mais 2 tratamentos testemunhas, sendo uma negativa (sem aplicação) e outra positiva (aplicação de fungicida em R1+R4). Os programas de controle foram constituídos de aplicações isoladas de silicato de alumínio (SiAl): I (R1 + R4), II (R1 + R5.1); e combinada com fungicida (Fun) (trifloxistrobina + procloraz-guanil): III (SiAl R1 + Fun R4), IV (Fun R1 + SiAl R4), V (SiAl R1 + Fun R5.1), VI (Fun R1 + SiAl R5.1). A fonte de silício utilizado contém 20,53% Al₂O₃, 17,43% SiO₂, 9,82% S, 1,31% CaO, 0,34% TiO₂, 0,18% MgO, 0,16% Fe₂O₃ e 0,10% P₂O₅.

As doses dos produtos utilizados nos tratamentos seguiram as recomendações dos fabricantes, sendo 3,0 kg ha⁻¹ para silicato de alumínio e 0,4 L ha⁻¹ para o fungicida. Os produtos foram aplicados com pulverizador costal pressurizado por CO₂, calibrado para liberar 150 L ha⁻¹ de calda. As parcelas experimentais apresentaram área total de 9,0 m² (1,8 x 5,0 m), sendo que as avaliações foram realizadas na área útil de 3,6 m² (0,9 x 4,0 m).

As avaliações de severidade da ferrugem foram realizadas em três momentos após a constatação da doença (R5.2, R5.3 e R5.4). Para tal, utilizou a escala diagramática que representa o órgão vegetal doente com diferentes

níveis de severidade (GODOY et al., 2006). Na avaliação, foram escolhidas ao acaso dez plantas em cada parcela, e, em cada planta, duas folhas localizadas na metade inferior e superior da planta. As notas individuais atribuídas a cada metade foram corrigidas matematicamente, conferindo-lhes diferentes pesos, gerando uma nota final de acordo com a seguinte equação: $\text{severidade} = (\text{severidade inferior} \times 0,35) + (\text{severidade na metade superior} \times 0,65)$, conforme metodologia proposta por Madalosso et al. (2010). Com os dados de severidade foi determinada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (CAMPBELL & MADDEN, 1990).

No estágio R7, foram escolhidas ao acaso dez plantas em cada parcela, e, em cada planta foram coletadas duas folhas do terço médio para avaliação do número de lesões com urédias (NLU), número de urédias por lesão (NUL) e número de urédias abertas (NUA). Para a realização dessas avaliações utilizou-se microscópio estereoscópico, com aumento de até 80 vezes.

Foi determinada a porcentagem de desfolha em cada parcela, no estágio fenológico R7, momento em que foi possível observar diferença visual de desfolha entre as parcelas dos programas de controle e as testemunhas. Empregou-se a escala diagramática, que apresenta seis níveis de severidade de desfolha (5, 15, 45, 65, 85 e 100%) (HIRANO et al., 2010).

Para determinar a produtividade de grãos, foi realizada a colheita na área útil de cada parcela, no estágio R9. Posteriormente, foi realizada a trilha e limpeza do material. Na sequência foi determinada a produtividade de grãos, em kg ha^{-1} . Os dados obtidos nas avaliações foram analisados por meio do software SISVAR, comparando as médias por meio do Teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas avaliações de severidade da ferrugem asiática, observa-se na Tabela 1, que a cultivar Anta 82 RR mostrou-se mais suscetível em relação à CD 2737 RR, havendo diferença estatística ($P < 0,05$) nas três avaliações de severidade e na AACPD. Estes resultados corroboram com as informações sobre as prováveis reações das cultivares aos patógenos causadores de doenças na soja (LOURENÇO et al., 2011). Os autores relatam que a

densidade estomática e de tricomas e a espessura da folha, mesófilo e parênquima podem influenciar na incidência e severidade de doenças no campo.

Em relação aos programas de controle (Tabela 1) nota-se que todos os programas apresentaram valores de severidade menores em relação à testemunha negativa. Os programas P1 e P2, independente da época de avaliação, foram os que apresentaram as maiores severidades quando comparados aos demais programas. Na primeira avaliação o programa P6 apresentou médias semelhantes à testemunha positiva. Na segunda e terceira avaliação as menores médias de severidade entre os programas foram observados onde a primeira aplicação foi com silicato de alumínio, em R1, seguida da aplicação de fungicida em R4 ou R5.1 (P3 e P5 respectivamente).

A área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) (Tabela 6), da cultivar CD 2737 RR foi significativamente ($P < 0,05$) menor em relação a cultivar Anta 82 RR. Em relação aos programas de controle a AACPD da testemunha negativa foi estatisticamente maior em relação aos demais tratamentos, indicando que todos os programas de controle com silicato de alumínio isolado ou associado com fungicida, foram eficientes no controle da doença. Os programas de controle cujas aplicações iniciaram com silicato de alumínio (R1) e a segunda aplicação com fungicida nos estádios R4 ou R5.1 (P3 e P6 respectivamente) apresentaram as menores AACPD (4,24 e 4,94 respectivamente), porém, apresentando valores superiores ao da testemunha positiva.

Tabela 1. Valores médios das avaliações de severidade da doença e da Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença (AACPD) para os fatores Cultivar e Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.

Tratamentos		1º AVA	2º AVA	3º AVA	AACPD
Cultivar	CD 2737 RR	0,05 a	0,40 a	4,73 a	19,49 a
	Anta 82 RR	0,07 b	0,87 b	7,91 b	34,03 b
Programa de Controle	TN*	0,16 d	1,19 f	9,63 e	42,47 e
	P1	0,13 c	0,88 e	8,17 d	35,03 d
	P2	0,10 c	0,92 e	8,04 d	34,84 d
	P3	0,04 b	0,38 b	3,85 b	16,23 b
	P4	0,04 b	0,51 c	6,90 c	27,89 c
	P5	0,04 b	0,38 b	4,56 b	18,79 b
	P6	0,02 a	0,68 d	7,35 c	30,62 c
	TP	0,01 a	0,15 a	2,05 a	8,25 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. *TN: testemunha negativa; P1: silicato de alumínio (R1+R4); P2: silicato de alumínio (R1+R5.1); P3: silicato de alumínio+fungicida (R1+R4); P4: fungicida+silicato de alumínio (R1+R4); P5: silicato de alumínio +fungicida (R1+R5.1); P6: fungicida+ silicato de alumínio (R1+R5.1); TP: testemunha positiva (R1+R4).

As severidades médias da ferrugem, para a interação Cultivares X Programas de Controle, apresentaram significância na análise de variância apenas na segunda e terceira avaliação (Tabela 2). A segunda avaliação de severidade da ferrugem asiática, os tratamentos P3 (silicato de alumínio em R1 + fungicida em R4) e P5 (silicato de alumínio em R1 + fungicida em R5.1) não apresentaram diferença estatística em relação a testemunha positiva para a cultivar CD 2737 RR. Porém esses mesmos resultados não foram semelhantes ($P>0,05$) na cultivar Anta 82 RR, entre os programas P3 e P5 e a testemunha positiva. Na terceira avaliação a severidade da ferrugem foi significativamente maior em plantas que receberam aplicações isoladas de silicato de alumínio (programas P1 e P2), independente do intervalo de aplicação. Os programas de controle que proporcionaram as menores médias de severidade, em ambas as cultivares, foram o P3 e P5. No entanto, quando estes valores médios de severidade foram comparados aos verificados nas plantas que receberam pulverizações de fungicida (testemunha positiva), apresentaram valores significativamente maiores.

Houve redução na AACPD em todos os programas de controle em relação à testemunha negativa. As menores médias entre os programas de controle foram obtidos no P3 e P5, mostrando que a aplicação inicial de silicato de alumínio no início do florescimento (R1), seguida da aplicação de fungicida

na formação de vagens (R4) ou no início da formação dos grãos (R5.1) foi eficiente no controle da ferrugem asiática. Entretanto, vale ressaltar que todos os programas de controle, bem como a testemunha negativa, apresentaram valores de AACPD superiores ao expressado na testemunha positiva, que apresentou o melhor controle (Tabela 2).

Os resultados obtidos corroboram com os encontrados por Shetty et al. (2012), que observaram redução na severidade do míldio pulverulento em roseira suprida com silício. Segundo Guerra et al. (2013) a redução da taxa de progresso da doença devido ao fornecimento de Si sugere que esse elemento pode interferir na colonização do patógeno, através da ativação de enzimas de defesa (peroxidases, quitinase, polifenoloxidasas e glucanase). Além da ativação de enzimas pelo silício presente no silicato de alumínio, essa fonte contém alumínio, titânio e ferro, componentes que apresentam ação contra agente fitopatogênicos (CARVALHO et al., 2012; GUAZINA; THEODORO, 2012).

Tabela 2. Valores médios da segunda e terceira avaliação de severidade e área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) para a interação Cultivar x Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.

Cultivar	Programa de Controle							
	TN*	P1	P2	P3	P4	P5	P6	TP
2° AVA								
CD 2737 RR	0,9aE	0,6aD	0,6aD	0,1aA	0,3aB	0,1aA	0,5aC	0,0aA
Anta 82 RR	1,4bF	1,1bD	1,3bE	0,6bB	0,7bB	0,6bB	0,9bC	0,3bA
3° AVA								
CD 2737 RR	6,5aC	5,9aC	5,9aC	3,0aB	5,2aC	3,8aB	5,5aC	1,7aA
Anta 82 RR	12,6bD	10,4bD	10,1bD	4,6bB	8,5bC	5,2bB	9,2bC	2,3bA
AACPD								
CD 2737 RR	30,2eA	25,3dA	25,0dA	11,4bA	20,5cA	14,4bA	22,7cA	6,1aA
Anta 82 RR	54,7eB	44,7dB	44,6dB	21,0bB	35,2cB	23,1bB	38,4cB	10,3aB

Médias seguidas de mesma letra (minúscula na coluna e maiúscula na linha) não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. *TN: testemunha negativa; P1: silicato de alumínio (R1+R4); P2: silicato de alumínio (R1+R5.1); P3: silicato de alumínio+fungicida (R1+R4); P4: fungicida+silicato de alumínio (R1+R4); P5: silicato de alumínio+fungicida (R1+R5.1); P6: fungicida+silicato de alumínio (R1+R5.1); TP: testemunha positiva (R1+R4).

Os valores médios do número de lesões com urédias (NLU), número de urédias por lesão (NUL), número de urédias abertas (NUA) obtidos no experimento são mostrados na Tabela 3. Nota-se que apenas para o NUA não houve diferença significativa entre as cultivares, sendo que para as demais avaliações (NLU e NUL) a cultivar CD 2737 RR apresentou os menores valores, respectivamente, quando comparado a Anta 82 RR.

Em relação aos programas de controle (Tabela 3), nota-se que houve redução significativa no número de lesões com urédias (NLU) nas plantas submetidas à todos os programas quando comparado à testemunha negativa. As menores médias nessa avaliação foram observados nos programas P3 e P5, no entanto, esses valores ficaram estatisticamente superiores a testemunha positiva. Nas avaliações do número de urédias por lesão (NUL) e do número urédias abertas (NUA), nota-se que o programa P3 foi semelhante estatisticamente à testemunha positiva, diferindo dos demais programas de controle. Todos os outros programas de controle diferiram estatisticamente da testemunha negativa, que apresentou as maiores médias de NUL e NUA. Essas variáveis têm sido utilizadas por diversos autores para quantificar diferenças entre níveis de resistência em alguns patossistemas (ANGELOTTI et al., 2008). Segundo Yamanaka et al. (2010) a utilização desses critérios possibilitam a detecção tanto da presença de um gene maior de resistência, quanto à resistência parcial.

Tabela 3. Valores médios do número de lesões com urédias (NLU), número de urédias por lesão (NUL) e número de urédias abertas (NUA) por folha em relação aos fatores Cultivar e Programa. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.

Tratamentos		NLU	NUL	NUA
Cultivar	CD 2737 RR	120 a	2,3 a	155,5 a
	Anta 82 RR	130 b	2,4 b	165,6 a
Programa de controle	TN*	151 d	3,1 d	216,8 d
	P1	132 c	2,5 c	173,8 c
	P2	135 c	2,6 c	170,3 c
	P3	107 b	1,8 a	114,0 a
	P4	134 c	2,5 c	173,2 c
	P5	111 b	2,2 b	140,3 b
	P6	134 c	2,5 c	178,6 c
	TP	93 a	1,8 a	117,2 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. *TN: testemunha negativa; P1: silicato de alumínio (R1+R4); P2: silicato de alumínio (R1+R5.1); P3: silicato de alumínio+fungicida (R1+R4); P4: fungicida+silicato de alumínio (R1+R4); P5: silicato de alumínio +fungicida (R1+R5.1); P6: fungicida+ silicato de alumínio (R1+R5.1); TP: testemunha positiva (R1+R4).

Analisando a interação Cultivar x Programa de controle (Tabela 4), observa-se que, para o NUL e o NUA não diferiram estatisticamente nos programas P1, P2, P3, P4, P5 e P6 quando comparados entre as cultivares CD 2737 RR e a Anta 82 RR. Somente houve diferença entre as testemunhas e cultivares. Em relação aos programas de controle dentro de cultivares, para a avaliação do NUL, nota-se que na CD 2737 RR somente o programa P3 apresentou valores estatisticamente semelhantes com a testemunha positiva. Já na Anta 82 RR os programas P3 e P5 não diferiram da testemunha positiva, mostrando que aplicação de silicato de alumínio em R1 e de fungicida em R4 ou em R5.1 possibilita uma redução no número de urédias por lesão.

Em relação ao NUA (Tabela 4), observa-se que na cultivar CD 2737 RR os programas P1, P2, P4, P5 e P6 não afetaram no número de urédias abertas assemelhando se a testemunha negativa (sem aplicação). O único programa que apresentou a menor média foi o P3, não diferindo estatisticamente da testemunha positiva. Para a cultivar Anta 82 RR todos os programas diferiram da testemunha negativa, no entanto, somente os programas P3 e P5 apresentaram os menores valores, não diferindo da testemunha positiva.

De maneira geral, nota-se que a aplicação de silicato de alumínio em R1 e fungicida em R4 ou R5.1, foi capaz de reduzir os componentes de resistência, refletindo negativamente na taxa de progresso da ferrugem asiática

no campo, tendo uma possível redução da quantidade de inóculo e da população da ferrugem asiática. Esses resultados foram similares ao obtido por Lima et al. (2010) que, ao avaliar o efeito do silício no controle da ferrugem asiática observaram redução no número de lesões cm^{-2} nas plantas de soja tratadas com silício e, conseqüentemente, houve redução na taxa de progresso da doença. Resultados semelhantes também foram obtidos por Cruz et al. (2012), que observaram redução de 27, 23 e 60%, respectivamente, no número de lesões, de urédias fechadas e de urédias completamente abertas nos folíolos das plantas supridas com Si, em comparação aos folíolos das plantas sem Si.

Tabela 4. Valores médios do número de urédias por lesão (NUL) e número de urédias abertas (NUA) por folha para a interação Cultivar x Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.

Cultivar	Programa de Controle							
	TN*	P1	P2	P3	P4	P5	P6	TP
NUL								
CD 2737 RR	2,8aC	2,4aB	2,5aB	1,7aA	2,4aB	2,1aB	2,5aB	1,7aA
Anta 82 RR	3,2bC	2,6aB	2,6aB	1,9aA	2,6aB	2,4aA	2,6aB	2,0bA
NUA								
CD 2737 RR	199,3aB	170,0aB	169,6aB	114,0aA	167,0aB	130,6aB	171,6aB	93,0aA
Anta 82 RR	234,3aC	177,6aB	171,0aB	114,0aA	179,3aB	149,9aA	185,6aB	141,3aA

Médias seguidas de mesma letra (minúscula na coluna e maiúscula na linha) não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. *TN: testemunha negativa; P1: silicato de alumínio (R1+R4); P2: silicato de alumínio (R1+R.1); P3: silicato de alumínio + fungicida (R1+R4); P4: fungicida + silicato de alumínio (R1+R4); P5: silicato de alumínio + fungicida (R1+R5.1); P6: fungicida + silicato de alumínio (R1+R5.1); TP: testemunha positiva (R1+R4).

A desfolha apresentou diferença significativa entre as cultivares (Tabela 5). A cultivar CD 2737 RR teve a menor porcentagem de desfolha quando comparado estatisticamente a cultivar Anta 82 RR. Em relação ao programa de controle, a desfolha da testemunha negativa (TN) se assemelhou aos programas P1, P2, P4 e P6. Quando foram feitas as primeiras aplicações com silicato de alumínio, no início do florescimento da cultura, em R1, e a segunda aplicação com fungicida, em R4 ou R5.1 (Programas P3 e P5 respectivamente), houve redução de 23% na desfolha em relação à testemunha não tratada (TN) (Tabela 5). Resultados semelhantes, quanto à

aplicação intercalar de silicato de alumínio e fungicida, foram obtidos por Carvalho et al. (2012) que observaram redução em mais de 40% na desfolha em plantas de cafeeiro. A desfolha pode ser diretamente relacionada à severidade da doença e a produtividade, sendo que quanto maior for a intensidade da doença, maior será a desfolha e menor será a produtividade (NAVARINI et al., 2007).

Ao analisar a Tabela 5, o fator Cultivar na avaliação de produtividade (kg ha^{-1}), constata-se que a cultivar CD 2737 RR teve a maior produção de soja (2.448 kg ha^{-1}) quando comparado à produção da cultivar Anta 82 RR (2.088 kg ha^{-1}). Em relação aos programas de controle, nota-se que as produtividades nos programas P1, P2, P4 e P6 não diferiram da testemunha negativa. Os programas de controle P3 e P5 não diferiram estatisticamente entre si, porém apresentaram um incremento na produtividade de 510 e 438 kg ha^{-1} , respectivamente, em relação à testemunha negativa (TN). A maior produtividade obtida no experimento foi de 2.850 kg ha^{-1} na testemunha positiva.

Na literatura são frequentemente encontrados resultados semelhantes ao obtido neste experimento em relação a não resposta a adubação silicatada na produtividade, mesmo em culturas consideradas acumuladoras de silício como, por exemplo, no arroz (CARVALHO, 2000; MAUAD et al., 2003). Juliatti et al. (2004) e Júnior et al. (2010) observaram que o uso do silício na cultura da soja não foi capaz de ser traduzido em aumento de produtividade independente do modo e dose do produto testado. Em outro estudo Moreira et al. (2010) relatam que somente a partir da terceira aplicação o silício acumula-se em níveis adequados na planta, promovendo aumento no acúmulo de massa seca e produtividade.

Tabela 5. Valores médios de desfolha (%) e produtividade (kg ha⁻¹) em relação aos fatores Cultivar e Programa de Controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.

Tratamentos		Desfolha (%)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Cultivar	CD 2737 RR	54 a	2.448 a
	Anta 82 RR	64 b	2.088 b
Programa de controle	TN*	67 c	2.016 c
	P1	73 c	1.950 c
	P2	69 c	1.872 c
	P3	51 b	2.526 b
	P4	61 c	2.202 c
	P5	51 b	2.454 b
	P6	65 c	2.112 c
	TP	33 a	2.850 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. *TN: testemunha negativa; P1: silicato de alumínio (R1+R4); P2: silicato de alumínio (R1+R5.1); P3: silicato de alumínio+fungicida (R1+R4); P4: fungicida+silicato de alumínio (R1+R4); P5: silicato de alumínio+fungicida (R1+R5.1); P6: fungicida+ silicato de alumínio (R1+R5.1); TP: testemunha positiva (R1+R4).

4 CONCLUSÕES

A aplicação de silicato de alumínio em R1 e fungicida em R4 ou R5.1 promoveu o melhor controle da ferrugem asiática em relação aos demais programas de controle, aumentando a produtividade de grãos.

O silicato de alumínio foi capaz de reduzir o número de lesões com urédias, número de urédias por lesão e número de urédias abertas.

A cultivar CD 2737 RR é menos suscetível à ocorrência da ferrugem asiática em relação a Anta 82 RR, acarretando em incremento da produtividade de grãos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELOTTI, F. et al. Resistência de genótipos de videira à ferrugem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 9, p. 1129-1134, 2008.

BANCAGLIONE, P. et al. Eficiência de argila silicatada no controle de *Xanthomonas axonopodis* pv. *passiflorae*, *in vitro* e em mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 718-724, 2009.

CAI, K. et al. Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. **Physiologia Plantarum**, v. 134, n. 2, p. 324-333, 2008.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York, 1990. p. 329-352.

CASSETARI NETO, D. et al. **Manual de doenças da soja**. 2010. 54 p.

CARVALHO, J. C. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura de arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício**. 2000. 119 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, SP.

CARVALHO, V. L. et al. Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. **Coffe Science**, v. 7, n. 1, p. 42-49, 2012.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. **Custo ferrugem asiática da soja**, 2014. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net/portal/?page_id=1347>. Acesso em: 19 de junho de 2014.

CRUZ, M. F. A. et al. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 142-145, 2012.

CURVÊLO, C. R. S. et al. Mecanismo bioquímico da defesa do algodoeiro à mancha de ramulária mediados pelo silício. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 41-51, 2013.

FORTUNATO, A. A. et al. Phenylpropanoid pathway is potentiated by silicon in the roots of banana plants during the infection process of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. **Phytopathology**, v. 104, n. 6, p. 597-603, 2014.

GUAZINA, R. A.; THEODORO, G. F. Ação in vitro de fontes de silício sobre *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. In.: Encontro de Iniciação Científica da UFMS, 2012, Campo Grande, MS. **Anais** (CD-ROM). Campo Grande, MS, 2012.

GODOY, C. V. et al. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.

GUERRA, A. M. N. M. et al. Aspectos bioquímicos da resistência do algodoeiro à ramulose potencializadores pelo silício. **Bragantia**, v. 72, n. 3, p. 292-303, 2013.

HIRANO, M. et al. Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugem asiática em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 3, p. 248-250, 2010.

JULIATTI, F. C. et al. Influência do silício na redução de podridão de sementes por *Fusarium semitectum* na cultura da soja. **Bioscience Journal**, v. 20, n. 2, p. 57-63, 2004.

JÚNIOR, P. F. et al. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 908-913, 2010.

KOGA, L. J. Chemical control and responses of susceptible and resistant soybean cultivars to the progress of soybean rust. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n. 5, p. 294-302, 2011.

LIMA, L. M. et al. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 1, p. 51-56, 2010.

LEMES, E. M. et al. Effects of silicon applications on soybean rust development under greenhouse and field conditions. **Plant Disease**, v. 95, p. 317-324, 2011.

LOURENÇO, H. A. O. et al. Anatomia foliar de diferentes cultivares de soja e sua relação com incidência e severidade de doenças. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 3, p. 37-47, 2011.

MADALOSSO, M. G. et al. Cultivares, espaçamento entrelinhas e programas de aplicação de fungicidas no controle de *Phakopsora pachyrhizi* Sidow em soja. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2256-2261, 2010.

MAUAD, M. et al. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 867-873, 2003.

MESQUINI, R. M. et al. Controle e progresso temporal da ferrugem asiática da soja sob controle alternativo em campo. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 1, p. 24-29, 2011.

MOREIRA, A. R. et al. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 413-423, 2010.

NAVARINI, L. et al. Controle químico da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na cultura da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 2, p. 182-186, 2007.

PEREIRA, S. C. et al. Aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem e na atividade de enzimas de defesa. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 3, p. 164-170, 2009.

SHETTY, R. et al. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. **Plant Pathology**, v. 61, p. 120-131, 2012.

REIS, T. H. P. et al. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 3, n. 1, p. 76-80, 2008.

YAMANAKA, N. et al. Development of classification criteria for resistance to soybean rust and differences in virulence among Japanese and Brazilian rust populations. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 3, p. 153-162, 2010.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DO USO DE SILÍCIO EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de silicato de alumínio em diferentes estádios fenológicos no controle da ferrugem asiática. O experimento foi conduzido no município de Chapadão do Sul – MS, durante a safra 2012/2013, em blocos casualizados, com cinco repetições e em esquema fatorial [(2x3)+2], sendo duas cultivares de soja e três programas de controle, mais duas testemunhas (negativa e positiva). A severidade foi estimada periodicamente para o cálculo da AACPD e a desfolha e produtividade avaliada no final do ciclo da cultura. Durante o ciclo da cultura também foi avaliado o nível populacional de lagartas desfolhadoras. A aplicação de silicato de alumínio foi capaz de reduzir a severidade da ferrugem asiática e a AACPD. Houve incremento na produtividade de grãos quando foram realizadas três e quatro aplicações de silicato de alumínio. O uso desse produto reduziu o nível populacional de lagartas desfolhadoras, bem como, possibilitou a redução do número de aplicações de inseticidas.

PALAVRAS-CHAVE: *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine max*, silicato de alumínio.

CHAPTER 2 – AVALIATION OF THE USE OF SILICON IN DIFFERENT STAGES PHENOLOGICAL IN CONTROL OF ASIAN SOYBEAN RUST.

ABSTRAT

The objective of this work was to evaluate the effect of aluminum silicate at different growth stages in control of Asian rust. The experiment was conducted in the municipality of Chapadão do Sul - MS, during the 2012/2013 season, in a randomized block design with five replications and a factorial [(2x3)+2], two soybean cultivars and three control programs, two controls (negative and positive). The severity was assessed periodically to calculate the AACPD and defoliation and productivity evaluated at the end of the crop cycle. During the crop cycle was also rated the population level of defoliating caterpillars. The use of aluminum silicate was able to reduce the severity of AACPD and Asian rust. There was an increase in grain yield when three four applications of aluminum silicate were performed. The use of this product reduced the population level of defoliating caterpillars, as well as possible to reduce the number of insecticide applications.

KEY WORDS: *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine max*, silicate of aluminum.

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é uma das mais importantes oleaginosas cultivadas no mundo, principalmente devido aos elevados teores de proteína (40%), óleo (20%) e pelo alto rendimento de grãos. No Brasil a produtividade média, na safra 2013/2014 foi de 2.854 kg ha⁻¹, com uma produção de 86.102,8 mil toneladas em aproximadamente 30.173,1 mil hectares (CONAB, 2014). A produção da soja pode ser afetada pela ocorrência de várias doenças, dentre elas, a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*. A presença da ferrugem reduz a eficiência e a duração da área foliar da soja, com consequências significativas na produtividade de grãos. Segundo Andrade & Andrade (2002) a doença pode causar danos de até 100%.

Atualmente há poucas opções de cultivares resistente ou parcialmente resistente à ferrugem asiática, razão pelo qual o manejo da doença é fortemente baseado na aplicação de fungicidas. Estes combinados com outros métodos culturais como a eliminação de plantas voluntárias de soja, o uso de cultivares precoces e semeaduras antecipadas, devem ser adotados para o controle eficiente da ferrugem (CASSETARI NETO et al., 2010).

Os principais fungicidas utilizados no controle da ferrugem asiática incluem compostos triazóis ou suas combinações com estrobilurinas (GARCÉS-FIALLOS & FORCELINI, 2013). A utilização frequente desses dois compostos, muitas vezes em condições impróprias (sub-doses e tecnologia inadequada de aplicação), tem resultado em diminuição da sensibilidade do patógeno a estes grupos de fungicidas (REIS et al., 2014). Este comportamento já foi observado em algumas regiões de cultivo de soja no país (KOGA et al., 2009).

Dadas as mudanças ocorridas na população do patógeno, no sentido de sua menor sensibilidade aos fungicidas, torna-se necessário avaliar outros métodos de controle. A adubação com silício (Si) pode ser uma alternativa viável no controle de doenças, como tem demonstrado os resultados das pesquisas em diversos patossistemas, inclusive com a ferrugem asiática da soja (JULIATTI et al. 2004; MEDEIROS & PERUCH, 2012). Na cultura da soja a aplicação do Si (silicato de potássio) no dossel da cultura, foi capaz de reduzir a severidade da ferrugem asiática (PEREIRA et al., 2009). Em outro

experimento, conduzido por Cruz et al. (2013), relatam que a redução da severidade da ferrugem esteve associado com o aumento da atividade de enzimas de defesa (quitinases, glucanases e fenilalanina) durante o processo infeccioso. Nesse mesmo patossistema, o uso de silício influenciou significativamente o teor de lignina nas folhas de soja, assim, constituindo-se como barreira física à penetração do patógeno (LIMA et al., 2010).

Diante do exposto, o objetivo neste trabalho foi avaliar a eficiência da aplicação de silicato de alumínio em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja para o controle da ferrugem asiática.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul, durante a safra 2012/2013. A semeadura foi realizada no dia 03 de dezembro de 2012 e utilizou-se como fertilizante de base 250 kg ha⁻¹ da formulação NPK, 00-20-20. Também se realizou adubação de cobertura com cloreto de potássio (KCl) na dose de 45 kg ha⁻¹ no estágio fenológico V5. O delineamento empregado foi o de blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial [(2x3)+2]. O primeiro fator representado por dois cultivares de soja (Anta82 RR e CD2737 RR) e o segundo fator representado por três programas de controle, e mais 2 tratamentos testemunhas, sendo uma negativa (sem fungicida na parte aérea) e outra positiva (aplicação de fungicida em R1+R4) (Tabela 6). A fonte de silício utilizado contém 20,53% Al₂O₃, 17,43% SiO₂, 9,82% S, 1,31% CaO, 0,34% TiO₂, 0,18% MgO, 0,16% Fe₂O₃ e 0,10% P₂O₅. O fungicida utilizado foi à mistura pronta de trifloxistrobina + proclorazoxol.

Tabela 6. Programas de controle e doses aplicadas em cultivares de soja para o controle de ferrugem asiática. Chapadão do Sul, MS, 2012/2013.

Programa de Controle		Dose* (kg ha ⁻¹ /L ha ⁻¹)	Época de aplicação
TN	Testemunha Negativa	-	-
P1	Silicato de alumínio	3,0	R1 + R4
P2	Silicato de alumínio	3,0	V5 + R1 + R4
P3	Silicato de alumínio	3,0	V5 + R1 + R4 + R5.1
TP	Testemunha Positiva	0,4	R1 + R4

*As doses utilizadas seguiram as recomendações dos fabricantes.

Os produtos foram aplicados com pulverizador costal pressurizado por CO₂, calibrado para liberar 150 L ha⁻¹ de calda. As parcelas experimentais apresentaram área total de 9,0 m² (1,8 x 5,0 m), sendo que as avaliações foram realizadas na área útil de 3,6 m² (0,9 x 4,0 m).

As avaliações de severidade da doença foram iniciadas a partir do surgimento dos primeiros sintomas no estágio fenológico R5.3 e repetidas em R5.4 e R5.5. Em todas as avaliações, dez plantas foram escolhidas ao acaso na área útil de cada parcela e, em cada planta, foram coletadas duas folhas localizadas na metade inferior e superior da planta. Para determinar a porcentagem de severidade em cada folha, utilizou-se a escala diagramática de Godoy et al. (2006), que representa o órgão vegetal doente com diferentes níveis de severidade. As notas individuais atribuídas a cada metade foram corrigidas matematicamente, conferindo-lhes diferentes pesos, gerando uma nota final de acordo com a seguinte equação: severidade = (severidade inferior x 0,35) + (severidade na metade superior x 0,65), conforme metodologia proposta por Madalosso et al. (2010). Com os dados de severidade foram determinada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (CAMPBELL & MADDEN, 1990).

Paralelamente as avaliações da ferrugem asiática, também foram feitos monitoramentos das lagartas desfolhadoras, sendo realizada uma amostragem (pano de batida) em cada parcela, quantificando-se as lagartas (grandes e pequenas). A avaliação ocorreu com frequência semanal, iniciando na fase vegetativa (V5) até a fase de completa formação de grãos (R6).

Empregou-se o método do pano de batida de Corrêa-Ferreira (2012), que abrange 2 m de fileira de plantas, fazendo-se 1 amostragem por parcela e anotando-se o número de lagartas presentes. As aplicações de inseticida foram

realizadas quando o nível de lagartas atingiram 20 insetos por pano de batida. Este nível de ação está em conformidade com o preconizado pela Embrapa Soja (TECNOLOGIAS, 2008). O inseticida empregado foi a mistura pronta Alfa-cipermetrina + Teflubenzurom (7,5 g i.a ha⁻¹) através de um pulverizador costal pressurizado por CO₂, calibrado para liberar 150 L ha⁻¹ de calda.

Foi determinada a porcentagem de desfolha em cada parcela, no estágio fenológico R7, momento em que foi possível observar diferença visual de desfolha entre as parcelas dos programas de controle e as testemunhas. Empregou-se a escala diagramática, que apresenta seis níveis de severidade de desfolha (5, 15, 45, 65, 85 e 100%) (HIRANO et al., 2010).

Para avaliação da produtividade de grãos (kg ha⁻¹), colheu-se a produção das plantas da área útil de cada parcela, sendo corrigida a umidade de grãos para 13%.

Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância para verificar a significância da interação entre cultivares e os programas de controle, bem como os efeitos individuais de cada fator. O teste de Scott-Knott foi utilizado para a comparação das médias, em nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os dados obtidos no experimento, nota-se que não houve interação entre Cultivares e Programas de Controle para nenhuma das avaliações realizadas (severidade e AACPD). Isto significa que o desempenho dos produtos avaliados foi independente da cultivar de soja. Em relação ao fator Cultivar (Tabela 7), somente na primeira avaliação de severidade da ferrugem asiática não houve diferença estatística entre a CD 2737 RR e a Anta 82 RR, a qual demonstrou maior suscetibilidade à ferrugem na segunda e terceira avaliação. Mesmo ambas cultivares serem consideradas suscetíveis, há variação quanto à sensibilidade ao fungo *Phakopsora pachyrhizi*. Esses resultados corroboram com os de Navirini et al. (2007), que ao avaliarem o número de pústula cm⁻² em folíolos de soja, observaram diferença entre as cultivares utilizadas. Tancredi (2008) também observou cultivares com menores desenvolvimentos da ferrugem asiática, sendo classificadas como resistência

parcial. O uso de cultivares com resistência parcial à referida doença poderá ser útil na redução do número de aplicações de fungicidas e, assim, reduzir o custo com o controle da doença (SANTOS et al., 2007).

Observando o segundo fator (Programa de Controle), na primeira e na segunda avaliação de severidade, as plantas que apresentaram as menores severidades da doença foram na testemunha positiva, diferindo estatisticamente das demais. Os programas de controle (P1, P2 e P3) reduziram a severidade da doença, quando comparados estatisticamente à testemunha negativa. Na última avaliação de severidade (3ªAVA), o programa de controle que apresentou a menor severidade da doença foi com aplicações de silicato de alumínio em V4, R1, R4 e R5.1 (P3), diferindo estatisticamente dos demais programas, inclusive da testemunha negativa. O valor da severidade do programa P3 foi superior estatisticamente somente em relação à testemunha positiva.

Na avaliação da Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença (AACPD) a média da cultivar CD 2737 RR foi significativamente ($P < 0,05$) menor em relação a Anta 82 RR (Tabela 7). Em relação ao fator programa de controle a AACPD da testemunha negativa foi estatisticamente maior em relação aos demais tratamentos. No programa P3, cujas plantas apresentaram menor severidade da doença, a AACPD foi 35% menor em relação à testemunha.

A redução da AACPD para os diferentes programas de controle utilizados neste experimento, possivelmente, ocorreu pelo aumento da resistência das plantas proporcionada pelo uso do Si. Segundo Schurt et al. (2013), este elemento confere maior proteção a estresses bióticos, devido ao aumento da lignificação dos tecidos vegetais. Além da barreira física o Si ativa diversas enzimas que tem função de inibir ou impedir o desenvolvimento do patógeno na planta hospedeira (PEREIRA et al., 2009).

Resultados semelhantes foram obtidos por Medeiros & Peruch (2012), em pesquisa com antracnose do maracujazeiro, os quais verificaram que a aplicação da argila silicatada proporcionou redução de 82% na curva de progresso da doença. Os autores relatam que além da presença do silício, outro elemento presente, como o enxofre, pode ter contribuído com a redução da severidade da doença. Teixeira et al. (2008) verificaram que plantas de

feijoeiro comum tratadas com silício apresentaram menor severidade de antracnose e mancha angular na safra das “águas”, e de crestamento bacteriano na “seca”.

Tabela 7. Valores médios das avaliações de severidade da doença e da Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença (AACPD) para os fatores Cultivar e Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.

	Tratamentos	1° AVA	2° AVA	3° AVA	AACPD
Cultivar	CD 2737 RR	0,11 a	0,84 a	7,57 a	32,87 a
	Anta 82 RR	0,13 a	1,07 b	8,54 b	37,86 b
Programa de Controle	TN*	0,20 c	1,23 c	11,17 d	48,41 d
	P1	0,15 b	1,00 b	9,67 c	41,35 c
	P2	0,13 b	0,94 b	8,78 c	37,81 c
	P3	0,12 b	0,99 b	6,76 b	31,06 b
	TP	0,03 a	0,63 a	3,90 a	18,20 a
CV (%)		33,80	15,92	15,95	14,01

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. *TN: testemunha negativa; P1: silicato de alumínio (R1+R4); P2: silicato de alumínio (V5+R1+R4); P3: silicato de alumínio (V5+R1+R4+R5.1); TP: testemunha positiva (R1+R4)

Na avaliação de desfolha (Tabela 8), realizada em R7, foi observado menor porcentagem de desfolhas nas parcelas com a cultivar CD 2737 RR, diferindo estatisticamente da Anta 82 RR. Em relação aos programas de controle, mesmo aqueles que apresentaram as menores severidades da doença teve desfolha similar ao da testemunha negativa. A menor porcentagem de desfolha foi observada nas parcelas onde as plantas receberam duas aplicações de fungicida (TP), diferindo estatisticamente dos demais.

Com relação à produtividade de grãos, houve uma variação entre as cultivares utilizadas nesse trabalho. A cultivar CD 2737 RR apresentou um melhor desempenho produtivo (maior produtividade grãos) em relação a Anta 82 RR (Tabela 8). Quando observado o fator programa de controle, nota-se que duas aplicações de silicato de alumínio (P1) não proporcionaram aumento na produtividade de grãos, não diferindo da testemunha negativa. Só houve resposta na produtividade, entre os programas de controle, quando foram realizadas três e quatro aplicações de silicato de alumínio, aumentando a produtividade em 13 a 16% (P2 e P3, respectivamente) em relação à testemunha negativa.

Resultados obtidos por Moreira et al. (2010) relatam que somente a partir da terceira aplicação o silício acumula-se em níveis adequados na planta de soja, promovendo aumento no acúmulo de massa seca e produtividade de grãos. Crusciol et al. (2013) relatam que a aplicação de silício promoveu aumento no número de vagens e na produtividade de grãos das culturas da soja, feijão e amendoim. O incremento foi na ordem de 14, 15 e 9,6%, respectivamente. Nesse trabalho foram realizadas quatro aplicações sequenciais de silício, sendo que nas culturas da soja e amendoim foram nos estádios V4+R1+R3+R5 e no feijoeiro em V4+R5+R6+R7.

Tabela 8. Valores médios das avaliações de desfolha (%) e produtividade (kg ha⁻¹) para os fatores Cultivar e Programa de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.

	Tratamentos	Desfolha (%)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Cultivar	CD 2737 RR	55,8 a	2.523 a
	Anta 82 RR	61,4 a	2.362 b
Programa de Controle	TN*	67,0 b	2.160 c
	P1	67,0 b	2.322 c
	P2	63,0 b	2.442 b
	P3	59,0 b	2.508 b
	TP	37,0 a	2.778 a
CV (%)		20,29	10,77

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. *TN: testemunha negativa; P1: silicato de alumínio (R1+R4); P2: silicato de alumínio (V5+R1+R4); P3: silicato de alumínio (V5+R1+R4+R5.1); TP: testemunha positiva (R1+R4)

Na Tabela 9 estão apresentados o número de lagartas desfolhadoras (Lepidoptera) nos diferentes programas de controle. A análise de variância foi significativa somente para o fator programa de controle o que mostra não haver diferença entre as cultivares. Na primeira avaliação (amostragem prévia), realizada em V5, indicou não haver diferença significativa entre os programas de controle e as testemunhas e que a população de lagartas se distribuía de maneira uniforme na área experimental.

Na segunda e terceira avaliação o número de lagartas não diferiu entre os programas de controle e as testemunhas. Nota-se que na terceira avaliação o nível populacional atingiu o nível de controle que são 20 lagartas por pano de batina, havendo a necessidade da primeira aplicação de inseticida. Na quarta e quinta avaliação nota-se que houve redução do número de lagartas quando

foram realizadas aplicações de silicato de alumínio no dossel da cultura (P1, P2 e P3), diferindo estatisticamente da testemunha negativa e positiva. Na sexta avaliação o número de lagartas atingiu o nível de controle nos programas P1 e P2 e nas testemunhas, não havendo diferença estatística entre si. Apenas o programa P3 diferiu estatisticamente dos demais, não havendo necessidade da aplicação de inseticida já que o número de lagartas foi inferior ao nível de controle (20 lagartas por pano de batida). Na sétima avaliação apenas os programas com três e quatro aplicações (P2 e P3, respectivamente) de silicato de alumínio diferiram dos demais, resultando nas menores populações de lagartas. Na última avaliação em todos os programas, inclusive na testemunha, houve a necessidade da aplicação de inseticida devido o número de lagartas está acima do nível de controle, havendo diferença estatística entre ambos. De modo geral o programa de controle com aplicações de silicato de alumínio em V5, R1, R4 e R5.1 (P3) proporcionou redução de uma aplicação de inseticida durante o ciclo da cultura, sendo necessário duas aplicações. Nos demais programas e nas testemunhas foram necessários três aplicações de inseticidas visando o controle das lagartas desfolhadoras.

A redução na população de lagartas nas plantas tratadas com silício pode ter ocorrido em função da deposição do silício nas folhas, reduzindo a qualidade do alimento, visto que o silício é acumulado principalmente na parede celular, aumentando a rigidez e a espessura das células epidérmicas (BRAGA et al., 2009). Segundo Goussain et al. (2002) o aumento da dureza do alimento provoca desgaste acentuado das mandíbulas das lagartas, portanto, dificulta a alimentação das lagartas, causando aumento da mortalidade e canibalismo. Resultados semelhantes foram observados na cultura do girassol, onde plantas tratadas com silício reduziu o número de lagartas-do-girassol (*Chlosyne lacinia saundersii*), além de não afetar a ocorrência de insetos predadores, podendo seus efeitos serem aditivos no controle de lagartas, relatam Antunes et al. (2010). Neri et al. (2005) relatam que o silício pode ser utilizado no manejo integrado de pragas, haja visto, que a interação de silício e inseticida é positiva em relação ao inseticida isolado.

Tabela 9. Número médio de lagartas desfolhadoras (Lepidoptera) em plantas de soja nos diferentes programas de controle. Chapadão do Sul, MS, safra 2012/2013.

Programa de controle	Número médio de lagartas							
	Avaliações							
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
TN*	2,9a	8,3a	21,3a	7,0b	15,2b	23,1b	11,8b	21,1 a
P1	2,7a	8,6a	21,2a	5,0a	14,5a	21,3b	11,4b	20,6 a
P2	1,9a	7,9a	20,0a	5,7a	13,6a	21,0b	9,8a	21,4 a
P3	2,2a	7,5a	20,7a	5,1a	12,6a	18,8a	10,4a	21,1 a
TP	2,9a	9,2a	21,9a	7,7b	16,1b	22,7b	12,9b	22,4 a
CV(%)	57,93	23,04	11,35	24,59	16,34	11,94	17,00	9,55

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Sckot Knott, a nível de 5% de probabilidade. *TN: testemunha negativa; P1: silicato de alumínio (R1+R4); P2: silicato de alumínio (V5+R1+R4); P3: silicato de alumínio (V5+R1+R4+R5.1) e TP: testemunha positiva (R1+R4).

4 CONCLUSÕES

A aplicação de silicato de alumínio foi capaz de reduzir a severidade e AACPD.

A cultivar CD 2737 RR mostra ser menos suscetível à ferrugem asiática em relação a Anta 82 RR.

A produtividade de grãos só foi influenciada com três e quatro aplicações de silicato de alumínio.

A aplicação de silicato de alumínio afetou a população de lagartas desfolhadoras, reduzindo o número de aplicações de inseticidas durante o ciclo da cultura da soja.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. A. **Ferrugem asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 11 p. 2002. (Circular Técnica n. 11).

ANTUNES, C. S. et al. Influência da aplicação de silício na ocorrência de lagartas (Lepidoptera) e de seus inimigos naturais chaves em milho (*Zea mays* L.) e em girassol (*Helianthus annuus* L.). **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 619-625, 2010.

BRAGA, F. T. et al. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 128-132, 2009.

CASSETARI NETO, D.; MACHADO, A. Q.; SILVA, R. A. **Manual de doenças da soja**. 2010. 54 p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1, 2014.

CORRÊA-FERREIRA, B. S. Amostragem de pragas de soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Org.) **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-pragas**, Brasília, DF, 2012. p. 631-672.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 404-410, 2013.

CRUZ, M. F. A. et al. Inducers of resistance and silicon on the activity of defense enzymes in the soybean-*Phakopsora pachyrhizi* interaction. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 162-172, 2013.

GARCÉS-FIALLOS, F. R.; FORCELINI, C. A. Controle comparativo da ferrugem asiática da soja com fungicida triazol ou mistura de triazol + estrobilurina. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 805-815, 2013.

GOUSSAIN, M. M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

HIRANO, M. et al. Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugem asiática em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 3, p. 248-250, 2010.

KOGA, L. J.; LOPES, I. O. N.; GODOY, C. V. Resultados do monitoramento da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas. **Reunião do Consórcio Antiferrugem safra 2008-09**, p. 59-69, 2009.

LIMA, L. M. et al. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 1, p. 51-56, 2010.

MADALOSSO, M. G. et al. Cultivares, espaçamento entrelinhas e programas de aplicação de fungicidas no controle de *Phakopsora pachyrhizi* Sidow em soja. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2256-2261, 2010.

MEDEIROS, A. M.; PERUCH, L. A. M. Fungicidas e argila silicatada o controle da antracnose maracujá amarelo. **Semina**, v. 33, n. 5, p. 1803-1808, 2012.

NAVARINI, L. et al. Controle químico da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow) na cultura da soja. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 2, p. 182-186, 2007.

NERI, D. K. P.; MORAES, J. C.; GAVINO, M. A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 6, p. 1167-1174, 2005.

PEREIRA, S. C. et al. Aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem e na atividade de enzimas de defesa. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 3, p. 164-170, 2009.

REIS, E. M. et al. **Redução da sensibilidade de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas e estratégias para recuperar a eficiência de controle**. Passo Fundo: Berthier, 2014. 56 p.

SANTOS, J. A. et al. Caracteres epidemiológicos e uso da análise de agrupamento da resistência parcial à ferrugem asiática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 443-447, 2007.

TANCREDI, F. D. **Genótipos de soja e ferrugem asiática: correlações, reação, adaptabilidade e estabilidade**. 171f, 2008. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2008.

TEIXEIRA, I. R. et al. Fontes de silício em cultivares de feijão nas safras das águas e da seca. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 4, p. 562-568, 2008.