

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA
SOJA E DO MOFO BRANCO**

KALINE AZAMBUJA SILVA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019**

SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA E DO MOFO BRANCO

KALINE AZAMBUJA SILVA
Engenheira Agrônoma

Orientadora: PROF^a DR^a LILIAN MARIA ARRUDA BACCHI

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S586s Silva, Kaline Azambuja
Silício no controle da ferrugem asiática da soja e do mofo branco [recurso eletrônico] / Kaline Azambuja Silva. -- 2019.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Lilian Maria Arruda Bacchi.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Glycine max. 2. Phakopsora pachyrhizi. 3. Sclerotinia sclerotiorum. 4. resistência de plantas.
5. Nutrientes. I. Bacchi, Lilian Maria Arruda. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA E DO
MOFO BRANCO**

por

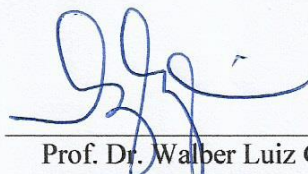
Kaline Azambuja Silva

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM AGRONOMIA

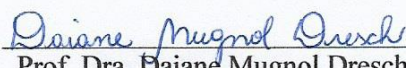
Aprovada em: 22/03/2019



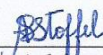
Prof. Dra. Lilian Maria Arruda Bacchi
Orientadora – UFGD/FCA



Prof. Dr. Walber Luiz Gavassoni
UFGD/FCA



Prof. Dra. Daiane Mugnol Dresch
UFGD/FCA



Prof. Dra. Adriana V. S. Stoffel
UNIGRAN

*“Portanto, quer comais quer bebais,
ou façais qualquer outra coisa, fazei tudo
para a glória de Deus.”*

1 Coríntios 10:31.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me sustentar e guiar minha vida, minha família e amigos.

À Universidade Federal da Grande Dourados pela oportunidade de estar desenvolvendo este trabalho para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

À minha mãe Elda B. A. Silva e meu pai Amauri José da Silva, pelo amor e incentivo diante das escolhas que fiz, além da ajuda prática quando precisei.

Ao meu namorado André Marcos, pelo carinho e paciência durante este processo, e por apoiar meus objetivos.

À professora Lilian Maria Arruda Bacchi, pela amizade, paciência e por dividir seus conhecimentos e experiências profissionais.

Aos meus amigos Paulo Henrique Souza, Anderson dos Santos Dias, Bruno Pontim e João Pedro Pontim que me auxiliaram durante a condução dos ensaios.

À CAPES pelo apoio financeiro e científico transferido para o desenvolvimento deste trabalho.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram neste trabalho.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
2. CAPÍTULO I.....	9
2.1. INTRODUÇÃO	11
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
A. EFEITO DO SILÍCIO SOBRE A SEVERIDADE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA EM DIFERENTES VARIEDADES DE SOJA.....	22
B. EFEITO DO SILÍCIO SOBRE O METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO EM DIFERENTES VARIEDADES DE SOJA.....	28
2.4. CONCLUSÃO	42
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
3. CAPÍTULO II.....	48
3.1. INTRODUÇÃO	50
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	53
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
3.4. CONCLUSÃO	62
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
ANEXOS	67

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I – EFEITO DO SILÍCIO NO CONTROLE DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA EM PLANTAS DE SOJA.

PÁGINA

- QUADRO 1. Número de lesões, urédias abertas (UA), urédias fechadas (UF) e urédias totais (UT), por folíolo de soja, de *P. pachyrhizi* aos 12 DAI em variedades de soja cultivadas com e sem adição de silício em casa de vegetação..... 22
- QUADRO 2. Porcentagem de urédias abertas (%UA) de *P. pachyrhizi* em diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação e avaliados aos 12, 22 e 33 dias após a inoculação (DAI)..... 23
- QUADRO 3. Porcentagem de urédias abertas (%UA) de *P. pachyrhizi* em folíolos de soja, cultivadas com e sem adição de silício em casa de vegetação..... 23
- QUADRO 4. Espessura da epiderme celular (μm) em folíolos de diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício. 25
- QUADRO 5. Área abaixo da curva de progresso (AACP) de: urédias abertas (UA), urédias fechadas (UF), urédias totais (UT) e lesões, de variedades de soja cultivadas em casa-de-vegetação 27
- QUADRO 6. Área abaixo da curva de progresso (AACP) de: urédias abertas (UA), urédias fechadas (UF), urédias totais (UT) e lesão, em plantas de soja com e sem adição de silício..... 28
- QUADRO 7. Taxa fotossintética (A) de folíolos de diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação aos 48 dias após a semeadura (DAS) com e sem adição de silício..... 29
- QUADRO 8. Taxa fotossintética (A) de folíolos de diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação aos 55 dias após a semeadura (DAS) com e sem adição de silício..... 30
- QUADRO 9. Condutância estomática (gs) de folíolos de diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS).. 31
- QUADRO 10. Transpiração foliar - E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de folíolos de variedades de soja aos 48 dias após a semeadura (DAS) com e sem adição de silício..... 32
- QUADRO 11. Transpiração foliar (E) aos 55 dias após a semeadura (DAS) em diferentes variedades de soja com e sem adição de silício 32

QUADRO 12. Taxa carbono interno - Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) de folíolos de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).....	33
QUADRO 13. Taxa de carbono interno (Ci) de folíolos de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).....	34
QUADRO 14. Eficiência instantânea do uso da água - A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).	35
QUADRO 15. Eficiência intrínseca do uso da água - A/gs ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).....	35
QUADRO 16. Eficiência instantânea da carboxilação - A/Ci ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}/ \mu\text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).....	36
QUADRO 17. Eficiência instantânea do uso da água - A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS)..	37
QUADRO 18. Eficiência instantânea da carboxilação - A/Ci ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}/ \mu\text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).....	37
QUADRO 19. Eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).....	38
QUADRO 20. Temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$) de folíolos de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).....	39
QUADRO 21. Temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$) de folíolos de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).....	40
QUADRO 22. Índice de clorofila (SPAD) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS).....	41

CAPÍTULO II - EFEITO DO SILÍCIO NO CONTROLE DE MOFO BRANCO EM PLANTAS DE SOJA.

PÁGINA

QUADRO 1. Incidência final de <i>S. sclerotiorum</i> em diferentes variedades de soja cultivadas em casa-de-vegetação.	57
QUADRO 2. Incidência final de <i>S. sclerotiorum</i> em plantas de soja cultivadas com e sem adição de silício	57
QUADRO 3. Área abaixo da curva de progresso (AACP) da incidência de <i>S. sclerotiorum</i> em plantas de soja cultivadas com e sem adição de silício.....	58
QUADRO 4. Comprimento da lesão (cm) e porcentagem do tecido vegetal com sintomas de <i>S. sclerotiorum</i> em diferentes variedades de soja cultivada em casa-de-vegetação.	59
QUADRO 5. Comprimento da lesão (cm) e porcentagem do tecido vegetal com sintomas de <i>S. sclerotiorum</i> em variedades de soja cultivadas com e sem adição de silício em casa-de-vegetação.	59
QUADRO 6. Área abaixo da curva de progresso (AACP) do comprimento de lesão e da porcentagem da planta infectada de <i>S. sclerotiorum</i> em diferentes variedades de soja cultivadas em casa-de-vegetação.....	60
QUADRO 7. Área abaixo da curva de progresso (AACP) do comprimento de lesão e da porcentagem tecido da planta com sintomas de <i>S. sclerotiorum</i> em soja cultivadas com e sem adição de silício em casa-de-vegetação.....	61

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I – EFEITO DO SILÍCIO NO CONTROLE DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA EM PLANTAS DE SOJA.

PÁGINA

- FIGURA 1. Cortes histológicos transversais com o auxílio de micrótomo rotativo. A – seccionamento do tolete pela navalha; B – retirada do corte do micrótomo; C – cortes histológicos finalizados. 16
- FIGURA 2. Coloração dos cortes histológicos finalizados em lâminas..... 16
- FIGURA 3. Moldes utilizados nos folíolos de soja coletados para auxiliar a contagem de lesões e urédias causadas pelo fungo *P. pachyrhizi*. 17
- FIGURA 4. Análise da taxa fotossintética, condutância estomática e concentração interna de CO₂ em folíolos de soja utilizando o aparelho analisador de gases no infravermelho (IRGA). 19
- FIGURA 5. Avaliação do índice de clorofila em folíolos de soja utilizando o aparelho SPAD, modelo 502, Konica Minolta. 20
- FIGURA 6. Distribuição temporal de atividades e avaliações realizadas no experimento.....21
- FIGURA 7. Imagens obtidas dos cortes histológicos dos folíolos de soja sem adição de silício (A) e com adição de silício (B). UA: urédia aberta; UF: urédia fechada 26

CAPÍTULO II - EFEITO DO SILÍCIO NO CONTROLE DE MOFO BRANCO EM PLANTAS DE SOJA.

PÁGINA

- FIGURA 1. Disco de micélio fixado à axila do terceiro trifólio com auxílio de fita PVC transparente..... 54
- FIGURA 2. Escala diagramática proposta por Juliatti et al. (2013b) para avaliações de severidade de mofo branco ou podridão branca da haste da soja. 55
- FIGURA 3. Distribuição temporal de atividades e avaliações realizadas no experimento.....56

RESUMO

SILVA, K. A. **Silício no controle da ferrugem asiática da soja e do mofo branco. 2018.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

As doenças estão entre os fatores que mais limitam a obtenção de alto rendimento na soja (*Glycine max*). Cerca de 40 doenças foram identificadas no Brasil causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus. O eficiente controle das doenças depende da adoção de práticas agrônomicas adequadas, incluindo o controle químico quando necessário, utilização de variedades resistentes, monitoramento da doença, bom manejo do solo, entre outras medidas que irão garantir maior tolerância às doenças. Atualmente a ferrugem asiática da soja e o mofo branco causadas, respectivamente, por *Phakopsora pachyrhizi* e *Sclerotinia sclerotiorum*, estão entre as principais doenças na cultura da soja no Brasil. Alguns nutrientes essenciais e elementos benéficos possuem função fisiológica que pode estar associada aos mecanismos de resistência das plantas a patógenos, podendo influenciar na severidade da doença tornando-se uma alternativa para reduzir a intensidade de doenças em plantas. Neste sentido, a utilização racional de fungicidas químicos integrado com o uso de nutrientes essenciais e/ou elementos benéficos, podem propiciar um manejo mais eficiente e econômico das doenças que causam danos extremamente altos às culturas comerciais. Dentre os elementos benéficos, o silício (Si) atua na redução da severidade de doenças em plantas. Sendo assim, objetivou-se utilizar o silício via foliar em plantas de soja e avaliar seus efeitos no controle da ferrugem asiática e do mofo branco, um patossistema biotrófico e um necrotrófico, respectivamente. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Fitopatologia, na Unidade II da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizada no município de Dourados – MS. Foram estudados quatro variedades de soja (TMG 7061 IPRO, TMG 7062 IPRO, CD 202, MSOY 6410). Em um ensaio foram feitas avaliações do efeito do silício sobre a severidade de ferrugem asiática da soja e sobre a fisiologia da planta. A porcentagem de urédias abertas (%UA) de *P. pachyrhizi* no primeiro dia de avaliação foi menor nas plantas com adição de silício. Na variedade TMG 7062 IPRO a espessura da epiderme foi maior nos folíolos com silício. A aplicação do nutriente pode causar um aumento no período latente da doença e na variedade CD 202 teve um efeito positivo nas trocas gasosas através da manutenção do aparato fotossintético. Em outro ensaio, o efeito do elemento sobre a severidade de mofo branco foi avaliado pelo comprimento da lesão na haste principal e pela porcentagem do tecido vegetal com sintomas. Nas plantas com aplicação de silício, o fungo *S. sclerotiorum* apresentou menor incidência e a variedade CD 202 se mostrou mais suscetível à doença, quando comparada às variedades TMG 7061 IPRO e TMG 7062 IPRO.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, *Sclerotinia sclerotiorum*, resistência das plantas, nutrientes.

ABSTRACT

SILVA, K. A. **Silicon in control of asian rust and white mold. 2018.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

The diseases are among the factors that most limit the achievement of high yield in soybean (*Glycine max*). About 40 diseases were identified in Brazil caused by fungi, bacteria, nematodes and viruses. The efficient control of diseases depends on the adoption of suitable agronomic practices, including chemical control when necessary, use of resistant varieties, disease monitoring, good soil management, and other measures that will guarantee greater tolerance to diseases. Currently, soybean rust and white mold caused by *Phakopsora pachyrhizi* and *Sclerotinia sclerotiorum*, respectively, are among the major diseases in soybean cultivation in Brazil. Some essential nutrients and beneficial elements have a physiological function that may be associated with the mechanisms of resistance of plants to pathogens, and may influence the severity of the disease, becoming an alternative to reduce the intensity of diseases in plants. In this sense, the rational use of chemical fungicides integrated with the use of essential nutrients and/or beneficial elements can provide a more efficient and economical management of diseases that cause extremely high damages to commercial crops. Among the beneficial elements, silicon (Si) acts to reduce the severity of plant diseases. Thus, the objective was to use foliar silicon in soybean plants and to evaluate its effects on the control of Asian rust and white mold, a biotrophic and a necrotrophic pathosystem, respectively. The experiments were conducted in greenhouse and in the Laboratory of Agricultural Microbiology and Phytopathology, Unit II of the Federal University of Grande Dourados (UFGD), located in the city of Dourados - MS. Four soybean varieties (TMG 7061 IPRO, TMG 7062 IPRO, CD 202, MSOY 6410) were studied. In one essay, the effect of silicon on the severity of soybean rust and on the physiology of the plant were evaluated. The percentage of open urea (% UA) of *P. pachyrhizi* on the first day of evaluation was lower in plants with silicon addition. In the variety TMG 7062 IPRO the thickness of the epidermis was higher in the silicon leaflets. Application of the nutrient may cause an increase in the latent period of disease and in the variety CD 202 had a positive effect on the gas exchange by the maintenance of the photosynthetic apparatus. In another essay the effect of the element on white-mold severity was evaluated by measuring the length of the lesion on the main stem and percentage of the plant tissue with symptoms. In plants with silicon application the *S. sclerotiorum* fungus presented lower incidence and the variety CD 202 was more susceptible to the disease, when compared to TMG 7061 IPRO and TMG 7062 IPRO varieties.

Key-words: *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, *Sclerotinia sclerotiorum*, resistance of plants, nutrients.

INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max*) é uma cultura de grande importância socioeconômica no Brasil, sendo utilizada na alimentação humana, em rações para animais (farelo), e entre outras áreas, constituindo-se uma das principais commodities produzidas e comercializadas no país. Na safra 2018/2019, a estimativa de produção total brasileira até o mês de abril alcançou 113.823,4 milhões de toneladas, em uma área plantada de 35.775,2 milhões de hectares, com uma produtividade média de 3.182 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

Na cultura da soja, as doenças estão entre os fatores que mais limitam a obtenção de alto rendimento. Cerca de 40 doenças foram identificadas no Brasil que podem ser causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus. As perdas de produção causadas por doenças estão entre 15 a 20%, entretanto, algumas podem chegar até 100% (EMBRAPA, 2014).

Atualmente, além da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e do mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), outras doenças como, oídio (*Erysiphe difusa*), mancha-alvo (*Corynespora cassiicola*), septoriose (*Septoria glycines*) e o crestamento foliar de cercospora (*Cercospora kikuchii*); podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*) e antracnose (*Colletotrichum truncatum*) são comuns nas lavouras (ALMEIDA et al., 2005; HENNING et al., 2010).

Como foi citado, algumas doenças podem causar perdas na cultura de até 100%, dentre as tais está a ferrugem asiática da soja, na qual o primeiro relato em lavouras no Brasil, foi na safra 2000/2001 (EMBRAPA, 2014). Segundo o Consórcio Antiferrugem (EMBRAPA SOJA, 2019), na safra 2018/2019 foram relatadas 365 ocorrências da doença no país. Cerca de 34,8% estavam no estado do Rio Grande do Sul, 15,9% no Paraná e 14,8% no Mato Grosso do Sul.

Já o mofo branco é uma das doenças mais antigas. A primeira ocorrência registrada de *S. sclerotiorum* foi na cultura da batata (*Solanum tuberosum*), em 1921 no estado de São Paulo. Atualmente, ocorre em praticamente todas as regiões do Brasil onde se cultiva soja (JULIATTI et al., 2016). O inóculo no solo e os danos na produção

de grãos são mais elevados em lavouras onde por diversos anos e na mesma área são cultivadas espécies vegetais de dicotiledôneas (BRUSTOLIN, 2012).

O eficiente controle de doenças depende do seu correto manejo e uso de práticas agronômicas, incluindo-se o controle via agrotóxicos, no momento correto e de forma apropriada (ITO, 2013), utilização de variedades resistentes (quando disponíveis), monitoramento da doença e o bom manejo do solo com auxílio da análise química, fornecendo à planta os nutrientes de forma equilibrada (HENNING et al., 2010).

A principal forma de controle da ferrugem asiática-da soja é o uso de fungicidas. Este controle tem sido realizado através da mistura de fungicidas dos seguintes modos de ação: inibidores da desmetilação do ergosterol (IDM), inibidores da quinona externa (IQe) e inibidores da succinato desidrogenase (ISDH). Cerca de 55 produtos são registrados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019). Entretanto, Godoy et al. (2018) constataram uma redução na eficiência de controle de produtos com estes três modos de ação, conforme já havia sido observado em outras safras (GODOY et al., 2017).

Em relação ao uso de fungicidas para o controle do mofo branco, é recomendada a mistura de fungicidas protetores com metil benzimidazóis carbamatos (inibem a formação da tubulina na mitose) no tratamento de sementes. Contudo, para evitar a introdução do fungo na área, o uso de semente certificada livre do patógeno é a maneira mais segura. Já em áreas de ocorrência da doença, deve-se eliminar as plantas hospedeiras do fungo, aumentar o espaçamento entre linhas, reduzir a população ao mínimo recomendado, e fazer rotação/sucessão com espécies resistentes como o milho (HENNING et al., 2010).

Fornecer à planta nutrientes de forma equilibrada, também, auxilia no controle das doenças, principalmente porque alguns nutrientes e elementos benéficos possuem função fisiológica que pode estar associada aos mecanismos de resistência das plantas a patógenos (ZAMBOLIM et al., 2012). Além disso, alguns podem influenciar na severidade da doença. Neste sentido, para favorecer a manutenção da sustentabilidade do sistema de produção de soja no país, recomenda-se a utilização racional de fungicidas químicos integrada com outras medidas de controle, como rotação de culturas, resistência genética, a indução de resistência e uso de nutrientes, que podem

propiciar um manejo mais eficiente e econômico das doenças que causam danos extremamente altos às culturas comerciais.

As plantas necessitam dos elementos minerais para realizar suas atividades metabólicas e o solo é o reservatório destes nutrientes. Para tanto, tais elementos são considerados essenciais quando indispensáveis para a planta, ou seja, sem eles a mesma não consegue completar seu ciclo de vida e, além disso, deve ter um papel fisiológico na planta. Além disso, os nutrientes podem ser divididos conforme sua exigência na planta em macronutrientes, os de maior exigência, e micronutrientes, de menor exigência pela planta (FURLANI, 2004).

Outros elementos não são classificados como essenciais, porém são considerados benéficos para a planta por causarem efeitos positivos sobre o crescimento de algumas espécies. Dentre eles estão: Silício (Si), Cobalto (Co), Sódio (Na) e Selênio (Se) (FURLANI, 2004).

Uma das formas de atuação do Si é a redução da severidade de doenças, através da constituição de barreira física com depósito de sílica amorfa na parede celular de maneira a impedir a penetração do fungo, afetando a relação patógeno-hospedeiro, resultando na ativação mais rápida e extensa dos mecanismos pré (constitutivos) e pós (induzíveis) formados na planta (POZZA et al., 2004).

O Si monomérico é considerado biologicamente ativo e libera mais rápido e extensivamente as defesas naturais da planta. Inicialmente a hipótese foi proposta em dicotiledôneas, mas, tem sido generalizado à monocotiledôneas também. Sendo assim, é lógico considerar que o silício age em mecanismos de expressão de genes gerais comuns na maioria das espécies de plantas (FAUTEUX et al., 2005).

Mesmo sendo o efeito do silício comum em todas as plantas, as mesmas foram classificadas por Furlani (2004) em três grupos:

1. Grupo A: Membros da família Cyperaceae (como a *Equisetum arvense*) e das espécies de gramíneas de áreas inundadas, como o arroz, que apresentam teores de Si da ordem de 100 a 150 mg.kg⁻¹ na matéria seca;
2. Grupo B: Membros da família Poaceae de sequeiro (terra alta), como a cana-de-açúcar, a maioria das espécies de cereais e algumas dicotiledôneas, que apresentam de 10 a 30 mg.kg⁻¹ na matéria seca;

3. Grupo C: A maioria das dicotiledôneas, especialmente leguminosas (família Fabaceae), que apresentam menos de 5 mg.kg^{-1} na matéria seca.

Mais recentemente, Menegale et al. (2015) classificaram as plantas de acordo com sua capacidade de absorção e acúmulo de Si nos órgãos, que é variável entre as espécies. Nessa divisão, são considerados três grupos: plantas acumuladoras (entre 100 e 150 g.kg^{-1} de Si), intermediárias (10 a 50 g.kg^{-1} de Si) e não-acumuladoras (concentrações abaixo de 5 g.kg^{-1} de Si).

Chérif et al. (1992) constataram que através de depósitos de sílica na parede celular, em plantas de pepino, na área de infecção do fungo *Pythium ultimum*, houve um atraso no início da infecção. Em um trabalho realizado por Rodrigues et al. (2001), observaram que a aplicação de silício foi eficaz no controle da queima-da-bainha (*Rhizoctonia solani*) em plantas de arroz.

Pereira et al. (2009), estudando os efeitos da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e na potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro, constataram que a aplicação das soluções de silicato de potássio, independente do pH, reduziu a severidade da doença.

Lemes et al. (2011) verificaram uma redução na área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática da soja em plantas de soja tratadas com silício, via foliar e via solo. Outro trabalho, realizado por Cruz et al. (2012), demonstrou que folíolos de plantas de soja tratadas com silício apresentaram redução dos sintomas da ferrugem asiática.

A absorção do silício do solo pode ser através das raízes por fluxo de massa e depois de absorvido é transportado pelo xilema, depositado na parede celular como sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e uma vez depositada torna-se imóvel e não se redistribui pela planta (BALASTRA et al., 1989; e DAYANADAM et al., 1983 citados por MOREIRA et al., 2010).

Além de desempenhar funções na planta, no solo na forma de ácido o silício sofre adsorção por óxidos de ferro e alumínio, um mecanismo similar ao que ocorre com o fosfato, sendo que este é um efeito benéfico do Si que eleva a disponibilidade do P (o adubo termofosfato magnésiano apresenta em torno de 25% de SiO_2) (FAQUIN, 2005) desempenhando papel importante nos solos brasileiros que são

pobres neste elemento. Desta forma, o fósforo e o silício competem pelo mesmo sítio de adsorção no solo, conferindo ao silício a capacidade de deslocar o fósforo para a solução do solo, aumentando a sua disponibilidade. Já que o solo adsorve mais fosfatos, o silício tem importante função na potencialização da adubação fosfatada (BRAIT, 2008).

Sendo assim, o suprimento das culturas com silício pode reduzir o uso de defensivos agrícolas, propiciando a obtenção de produto de melhor qualidade, além de diminuir o impacto ambiental nos sistemas de produção (MOREIRA et al., 2010).

Desta forma, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito do silício sobre a severidade da ferrugem asiática da soja e o metabolismo fotossintético das plantas, e sobre a severidade do mofo branco.

1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. E. V.; HENNING, A. A. Doenças da soja. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; FILHO, B.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. (Ed. 4). São Paulo: Ceres, 2005. V. 2, p. 618-627.

BRAIT, M. A. H. **Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás.

BRUSTOLIN, R. **Produção de inóculo e sobrevivência de *Sclerotinia sclerotiorum***. 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de concentração em Fitopatologia) - Universidade Federal de Passo Fundo.

CHÉRIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 41, n. 6, p. 411-425, 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2018/2019**. 2019, v. 6, n. 7, 119 p.

CRUZ, M. F. A.; SILVA, L. F.; RODRIGUES, F. A.; ARAUJO, J. M.; BARROS, E. G. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 142-145, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: Região central do Brasil**. 2014. (Sistemas de Produção). 266 p.

EMBRAPA SOJA. **CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM: Parceria público-privada no combate à ferrugem asiática da soja**. Disponível em: <<http://www.consortioantiferrugem.net/#/main>>. Acesso em: 01/02/2019.

FAQUIN, V.. **Nutrição Mineral das Plantas**. 2005. 186 f. Especialização (Pós-graduação em solos e meio ambiente) - Universidade Federal de Lavras.

FAUTEUX, F.; RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, v. 249, n. 1, p. 1-6, 2005.

FURLANI, Â. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Guanabara Koogan, 2004, v. 39, 69 p.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES,

I. O. N.; FORCELINI, C. A. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** 2017 (Circular Técnica, 129). 12 p.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; BORGES, E. P.; ANDRADE, E. R.; SIQUERI, F. V. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2015/16: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** 2018 (Circular Técnica, 138). 8 p.

HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. **Manual de Identificação de Doenças de Soja.** Embrapa, 2010. (Documentos). 73 p.

ITO, M. F. Principais doenças da cultura da soja e manejo integrado. In: 1º ENCONTRO TÉCNICO SOBRE AS CULTURAS DA SOJA E DO MILHO NO NOROESTE PAULISTA, n. 3, 2013. **Nucleus**. p. 83–101.

JULIATTI, F. C.; FIGUEIRÓ, A. A.; GARCIA, R. Á.; SANTOS, J. B.; MACHADO, J. C.; POZZA, E. A.; JUNIOR, M. L.; CIVARDI, E. A.; JÚNIOR, T. J. P.; VIEIRA, R. F.; LEHNER, M. S.; LIMA, R. C.; FILHO, D. S. J. ***Sclerotinia sclerotiorum* e mofo branco: estudos básicos e aplicados**, Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/299484905_Sclerotinia_sclerotiorum_e_Mofo_branco_Estudos_basicos_e_aplicados>. Acesso em: 21/02/2019.

LEMES, E. M.; MACKOWIAK, C. L.; BLOUNT, A.; MIROIS, J. J.; WRIGHT, D.; COELHO, L.; DATNOFF, L. E. Effects of silicon applications on soybean rust development under greenhouse and field conditions. **Plant Disease**, v. 95, n. 3, p. 317–324, 2011.

MENEGALE, M. L. C.; CAST5RO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. especial, p. 435–452, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários.** Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 01/02/2019.

MOREIRA, A. D. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E. Response of soybean crop to the silicon fertilization on leaves. **Bioscience Journal**, v. 26, n. June, p. 413–423, 2010.

PEREIRA, S. C.; RODRIGUES, F. A.; CARRÉ-MISSIO, V.; OLIVEIRA, M. G. A.; ZAMBOLIM, L. Efeito da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e na potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 4, p. 223–230, 2009.

POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 185–188, 2004.

RODRIGUES, F. Á.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. **Plant Disease**, v. 85, n. 8, p. 827–832, 2001.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; JÚNIOR, L. A. **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2012, 321 p.

CAPÍTULO I

SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA EM PLANTAS DE SOJA.

RESUMO - O silício é considerado um elemento benéfico às culturas e dentre seus efeitos nas plantas está o aumento da resistência a doenças fúngicas. Objetivou-se avaliar o efeito do silício sobre a infecção de *Phakopsora pachyrhizi* e no metabolismo fotossintético da plantas de soja (*Glycine max*). O ensaio foi conduzido em casa-de-vegetação localizada na Universidade Federal da Grande Dourados (Dourados – MS). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (4x2) onde foram avaliadas quatro variedades de soja, sendo duas resistentes à ferrugem asiática (TMG 7061 IPRO e TMG 7062 IPRO) e duas suscetíveis (CD 202 e MSOY 6410) em duas condições (com e sem adição de silício), com 4 repetições. Plantas foram inoculadas com urediniosporos do patógeno no estágio R1. Aos 12 dias após a inoculação (DAI), a porcentagem de urédias abertas foi maior nas plantas sem adição de silício, demonstrando que a presença do nutriente pode causar um atraso no desenvolvimento da epidemia da doença. A variedade TMG 7062 IPRO apresentou maior espessura da epiderme quando o nutriente estava presente em relação a ausência do mesmo. Na variedade CD 202, o silício teve um efeito positivo nas trocas gasosas pela manutenção do aparato fotossintético.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine max*, resistência a doenças, nutrição de plantas.

EFFECT OF SILICON ON THE CONTROL OF SOYBEAN RUST IN SOYBEAN PLANTS

ABSTRACT - Silicon is considered a beneficial element to crops and may increase disease resistance. The objective of this study was to evaluate the effect of silicon on *Phakopsora pachyrhizi* infection and on the photosynthetic metabolism of soybean plants (*Glycine max*). The experiment was conducted in a greenhouse located at the Federal University of Grande Dourados (Dourados - MS). The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (4x2) in which four soybean varieties were evaluated, two resistant to Asian rust (TMG 7061 IPRO and TMG 7062 IPRO) and two susceptible ones (CD 202 and MSOY 6410) under two conditions (with and without silicon addition) with 4 replicates. Plants were inoculated with uredinospores of the pathogen at stage R1. At 12 days after inoculation (DAI), the percentage of open uredinea was higher in plants without silicon addition, demonstrating that the presence of the nutrient may cause a delay in the development of the disease epidemic. The TMG 7062 IPRO variety showed greater thickness of the epidermis when the nutrient was present in relation to the absence of the same. In the variety CD 202, silicon had a positive effect on the gas exchange by the maintenance of the photosynthetic apparatus.

Key-words: *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine max*, resistance to diseases, plant nutrition.

2.1. INTRODUÇÃO

O silício (Si) é um elemento benéfico que tem como efeito significativo nas plantas a restrição ao parasitismo, ademais, melhora a adaptação delas ao solo e aumenta a produção (RODRIGUES e DATNOFF, 2005).

É abundante na crosta terrestre e a sua forma predominante na solução do solo é a de ácido monossilícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, que tem similaridades com o ácido bórico, pois ambos são ácidos fracos em solução aquosa e interagem com pectinas e polifenóis da parede celular (KORNDORFER, 2006).

A polimerização de silício na face abaxial da folha, chamada de silificação, é comum em gramíneas e pode ocorrer em dicotiledôneas (LUX et al., 2002). Os Estados Unidos da América já utilizam o Si na adubação de arroz e cana-de-açúcar, principalmente na forma de silicato de cálcio e magnésio, um subproduto da indústria siderúrgica e da produção de fósforo elementar. No Brasil, o silício foi incluído como micronutriente benéfico pela legislação para produção e comercialização de fertilizantes e corretivos, sendo assim, pode ser comercializado isolado ou em mistura com outros nutrientes (RODRIGUES et al., 2011).

O Si monomérico é considerado biologicamente ativo, assim as defesas naturais da planta são mais rápidas e extensivas. Inicialmente, tal hipótese foi proposta em dicotiledôneas mas tem sido generalizado à monocotiledôneas também. Sendo assim, é lógico considerar que o silício age em mecanismos de expressão de genes gerais comuns na maioria das espécies de plantas (FAUTEUX et al., 2005)

As espécies de plantas também se diferenciam em relação ao tamanho e forma dos fitólitos que acumulam (FAUTEUX et al., 2005) mesmo assim, geralmente a fração orgânica do Si é encontrada ligada em proteínas, compostos fenólicos (lignina), lipídeos e polissacarídeos (celulose) (KOLESNIKOV e GINS, 2001).

Dentre os principais efeitos do silício estão: aumento de produtividade e altura de planta, aumento de resistência a pragas e doenças, da resistência a estresses abióticos, redução do efeito tóxico de metais pesados e da transpiração. O nutriente é absorvido em forma de ácido monossilícico e segue a via da transpiração, sendo assim

esses efeitos citados podem ser por causa da sílica amorfa depositada ou consequência da bioatividade do ácido (FAUTEUX et al., 2005).

Em relação à redução da incidência de doenças fúngicas, em um número variado de patossistemas, o silício pode atuar na constituição da barreira física, resultando em alterações na parede celular das células epidérmicas (POZZA et al., 2004). Este elemento benéfico melhora a resistência das plantas em mudanças bruscas de temperatura, contra insetos, pragas e doenças (ZAMBOLIM et al., 2012). Fauteux et al. (2005) observaram que a deposição de sílica no apoplasto das células epidérmicas de folhas preveniu a penetração por fungos patogênicos. Apesar disso, esse mecanismo poder explicar somente parte dos efeitos profiláticos do silício.

Alguns autores associaram o mecanismo de ação do silício ao incremento da barreira mecânica das células contra a penetração de patógenos. Chérif et al. (1992) mostraram em folhas de pepino a ausência de depósitos de Si nas primeiras horas após a aplicação do nutriente. Após 48h da aplicação, houve deposição de material amorfo na área de penetração do fungo *Pythium ultimum*, demonstrando que o Si pode auxiliar na defesa da planta, através de incremento de lignina na parede celular, impedindo ou atrasando a infecção do patógeno.

Kim et al. (2002) propuseram que a fortificação das paredes das células de folhas de plantas de arroz pode ser um mecanismo de resistência provido pelo tratamento com silício. Ainda neste trabalho foi evidenciada a ligação da fortificação da parede celular com falha da penetração por fungos.

Há trabalhos que demonstram que o silício tem efeito na resistência da planta à ferrugem (ARSENAULT-LABRECQUE et al., 2010; LEMES et al., 2011; CRUZ et al., 2012). Historicamente, na cultura da soja, a ferrugem asiática é uma das doenças mais severas, com nível de danos variando de 10 a 100% na produtividade da cultura. (ANDRADE e ANDRADE, 2002; FIALLOS, 2011). O agente causal, *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow, é um parasita obrigatório que pertence ao filo Basidiomycota, classe Urediniomycetes (MENDES e FREITAS, 2006).

O controle químico da doença com o uso de fungicidas inibidores da desmetilação e inibidores da quinona externa é o mais utilizado e viável, mesmo com a perda de eficácia (GODOY et al., 2018). Estes fungicidas são mais eficazes se empregados de forma preventiva e em conjunto com outras práticas, como: uso

variedades resistentes e de ciclo precoce, não semear tarde e adoção do vazio sanitário para reduzir o inóculo inicial na próxima safra (HENNING et al., 2010; ITO, 2013; EMBRAPA, 2014).

Pereira et al. (2009), estudando os efeitos da aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem asiática, constataram que a pulverização de silicato de potássio em plantas de soja reduziu a severidade de *P. pachyrhizi*, sendo que tal tratamento não diferiu significativamente do produto comercial com acibenzolar-S-metílico, que reduziu em 65% a severidade da doença.

Em um estudo semelhante, Rodrigues et al. (2009) constataram que a aplicação foliar de silicato de potássio reduziu a severidade da ferrugem asiática-da soja em 70%, quando comparada ao controle. Estes mesmos autores, estudaram o efeito tanto em casa de vegetação como no campo e demonstraram redução da intensidade de *P. pachyrhizi* em ambos.

Arsenault-Labrecque et al. (2012) compararam o efeito da absorção do silício em folhas de diferentes variedades de soja para determinar se tal absorção foi capaz de aumentar a resistência da planta à ferrugem asiática da soja. O silicato de potássio foi aplicado de forma solúvel juntamente com a solução de Hoagland. Esses autores constataram que dentre as variedades, a Hikimak Sorip absorveu quatro vezes mais silício que a Williams 82. Além disso, plantas da Hikimak supridas com o nutriente praticamente não exibiram sintomas da doença.

Lemes et al. (2011), estudando plantas de soja inoculadas com *P. pachyrhizi* recebendo dois tipos de aplicação de silício, via solo e foliar, demonstraram que nos ensaios em casa-de-vegetação os tratamentos com aplicação de Si atrasaram o início da doença em 3 dias. Ainda, em experimentos a campo foram observadas reduções da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de 43% e 36% para os tratamentos via solo e foliar, respectivamente.

Patógenos que causam doenças foliares, podem afetar a fisiologia da planta negativamente, interferindo nas trocas gasosas, devido às perdas de área foliar ou reduzindo a eficiência do processo fotossintético (SHTIENBERG, 1992). O dano causado pela infecção de um patógeno na capacidade fotossintética da planta pode levar a mudanças na transpiração e balanço de água. Perez et al. (2014) demonstraram

que há uma associação entre as características fisiológicas de plantas de trigo com o aumento da sua resistência à infecção de *Pyricularia oryzae* supridas com silício.

Dallagnol et al. (2013) também demonstraram que o silício pode ajudar a manter o aparato com valores altos da taxa fotossintética e sem mudanças significativas na condutância estomática e na taxa de carbono interno e reduzir os efeitos maléficos em plantas infectadas com doenças foliares.

Neste sentido, objetivou-se neste trabalho analisar como o silício interfere na severidade da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e no metabolismo fotossintético da planta em diferentes genótipos (suscetíveis e resistentes) de soja (*Glycine max*), seguindo a hipótese de que o silício exerce um efeito positivo sobre o controle da doença e ajuda a manter o metabolismo fotossintético.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Fitopatologia, na Unidade II da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizada no município de Dourados – MS, durante os meses de março a maio de 2018. Foram semeadas variedades de soja em vasos contendo mistura de 3 kg de solo, areia e substrato comercial Tropstrato HT® (1:1:1 v/v).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (4x2) com quatro variedades de soja, sendo duas parcialmente resistentes à ferrugem asiática, TMG 7061 IPRO (TROPICAL MELHORAMENTO & GENÉTICA, 2018a) e TMG 7062 IPRO (TROPICAL MELHORAMENTO & GENÉTICA, 2018b), e duas suscetíveis, CD 202 (COODETEC, 2018) e MSOY 6410 (MONSOY, 2018) com e sem adição de silício, com 4 repetições.

A aplicação do filossilicato (60% SiO₂) ocorreu no estágio de desenvolvimento V4 da soja (YORINORI, 1996), aos 32 dias após a semeadura (DAS), pulverizando-se solução do produto na parte aérea das plantas na dose de 300 g ha⁻¹ recomendada pelo produto. A inoculação das plantas foi realizada aos 42 DAS no estágio R1 (YORINORI, 1996) com urediniósporos do fungo *P. pachyrhizi* em suspensão (SILVA, 2008). Os esporos utilizados na inoculação das plantas foram coletados batendo-se folhas de soja infectadas com a doença em uma bandeja plástica. Os esporos foram suspensos em água destilada com 0,05% (v/v) de “Tween 20” (Uniqema), obtendo-se uma concentração de esporos de 3,18 x 10⁴ mL⁻¹. Em seguida, a suspensão de urediniósporos foi aplicada nas folhas até o ponto de escorrimento e as plantas foram mantidas à câmara úmida por 24h.

As avaliações do efeito do silício sobre a severidade da doença e fisiologia da planta foram realizadas a partir dos 10 dias após a inoculação (DAI), sendo coletados folíolos para realizações de cortes histológicos. De cada folíolo, dois fragmentos de 10 mm² com sintomas da doença foram obtidos e foi realizado o preparo histológico conforme Daykin e Hussey (1985), onde cada corte foi desidratado em série alcoólica e infiltrado em blocos de parafina. A partir das peças de parafina com a amostra

incluída foram realizados cortes histológicos (Figura 1) que posteriormente foram corados (Figura 2), segundo metodologia adaptada de Hagquist (1985), substituindo o corante por azul de toluidina a 0,05% (pH 4,7) e sem a utilização da solução Orange G + Fast Green FCF (CRUZ et al., 2012). Depois desses processos, finalizou-se a montagem das lâminas com a lamínula. Posteriormente, foram quantificados o número de urédias abertas (UA), urédias fechadas (UF) e a espessura (μm) da epiderme em cada corte.

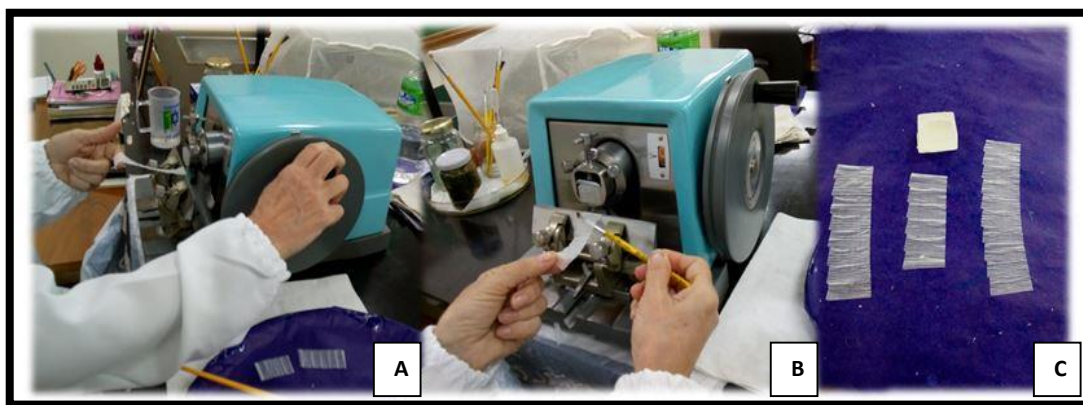


FIGURA 1. Cortes histológicos transversais com o auxílio de micrótomo rotativo. A – seccionamento do tolete pela navalha; B – retirada do corte do micrótomo; C – cortes histológicos finalizados.

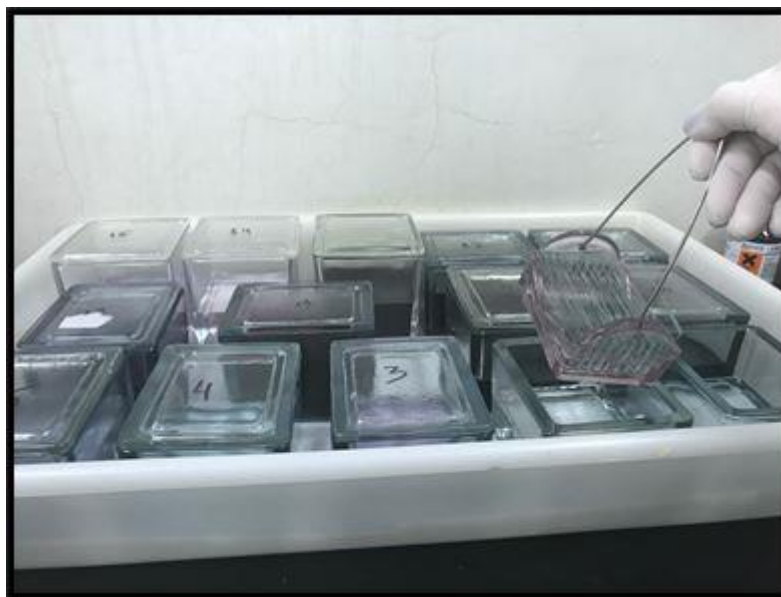


FIGURA 2. Coloração dos cortes histológicos finalizados em lâminas.

A severidade da *P. pachyrhizi* foi quantificada com intervalo de 10 dias entre as avaliações, contando-se o número de lesões causadas pela ferrugem asiática, o número de UA e UF, sendo a primeira coleta feita aos 12 DAI, a segunda aos 22 DAI e a terceira aos 32 DAI.

A contagem de urédias, por folíolo coletado, foi realizada com o auxílio de moldes (Figura 3) com área total conhecida, onde os mesmos eram de tamanho aproximado dos folíolos e continham quadrados perfurados (1 cm²), nos quais as lesões e urédias contidas nesta área eram contabilizadas com auxílio de lupa. Posteriormente, cálculos para estimar o número total de lesões, urédias abertas, fechadas e totais foram efetuados para a área total do folíolo. Os dados foram transformados em raiz quadrada ($\sqrt{x + 0,5}$) antes de submetê-los à análise estatística.

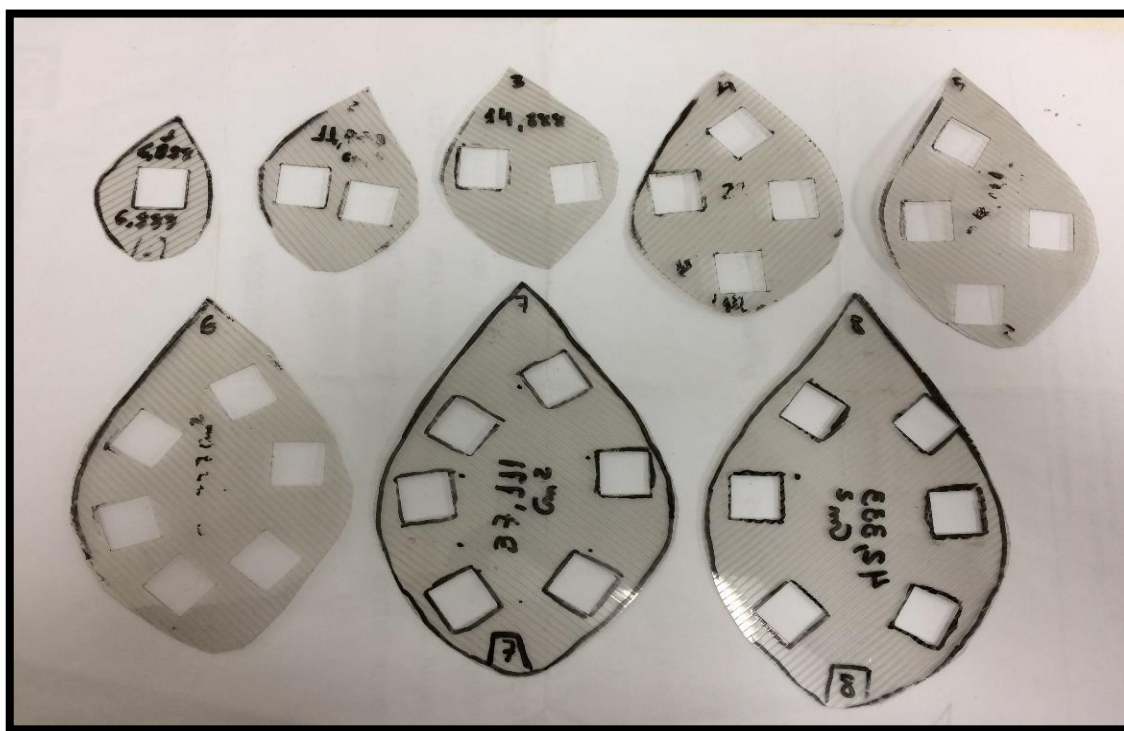


Figura 3. Moldes utilizados nos folíolos de soja coletados para auxiliar a contagem de lesões e urédias causadas pelo fungo *P. pachyrhizi*.

A porcentagem de urédias abertas (%UA) foi calculada pela fórmula abaixo, onde: UA é o número de urédias abertas e UF é o número de urédias fechadas. O valor

desta variável foi transformado em arco seno da raiz de x sobre 100 ($\sqrt{x/100}$) e depois submetido à análise estatística.

$$\%UA = \left(\frac{UA}{(UA + UF)} \right) \times 100$$

A partir do número de lesões, urédias (abertas e fechadas), urédias totais e porcentagem de urédias abertas, foi realizado o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada uma dessas variáveis por meio da equação apresentada por Campbell e Madden (1990).

$$AACPD = \sum_{i=1}^{N-1} [(Y_i + Y_{i+1})/2] \times (T_{i+1} - T_i)$$

Onde: **Y_i**: severidade da doença na época de avaliação i;

Y_{i+1}: severidade da doença na época de avaliação i+1;

T_i: época de avaliação i;

T_{i+1}: época de avaliação i+1;

N = número de avaliações.

O metabolismo fotossintético da planta foi avaliado em folhas, aparentemente saudas, utilizando o analisador de gases no infravermelho (IRGA) marca ADC, modelo LCI PRO (Analytical Development Co. Ltda, Hoddesdon, UK), sempre nas folhas da parte superior da planta, em folhas completamente expandidas e totalmente expostas à radiação solar, sendo realizada leitura aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS). Os dados que este aparelho fornece são: a taxa fotossintética (A), condutância estomática (Gs), transpiração foliar (E), concentração interna de CO₂ (Ci) e temperatura foliar (TF°C). A partir destas medições, pode-se calcular a: eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso de água (A/Gs) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) (ZHANG et al., 2001). Durante as avaliações, o folíolo selecionado em cada planta foi sempre nos trifólios totalmente expandidos do estrato superior (FAGAN et al., 2010) e colocado dentro da câmara selada do equipamento

(Figura 4). As medições foram feitas entre às 9 e 10 horas da manhã em dias ensolarados.



FIGURA 4. Análise das trocas gasosas em folíolos de soja utilizando o aparelho analisador de gases no infravermelho (IRGA).

O índice de clorofila (Figura 5) foi quantificado por meio do SPAD (Konica Minolta, modelo SPAD-502) no folíolo central do terceiro trifólio totalmente aberto

do ápice para a base da planta (YOKOYAMA et al., 2016) em avaliações realizadas, também, aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS).



FIGURA 5. Avaliação do índice de clorofila em folíolos de soja utilizando o aparelho SPAD, modelo 502, Konica Minolta.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 6 representa todas as ações realizadas no ensaio durante o período da aplicação de silício à última avaliação.

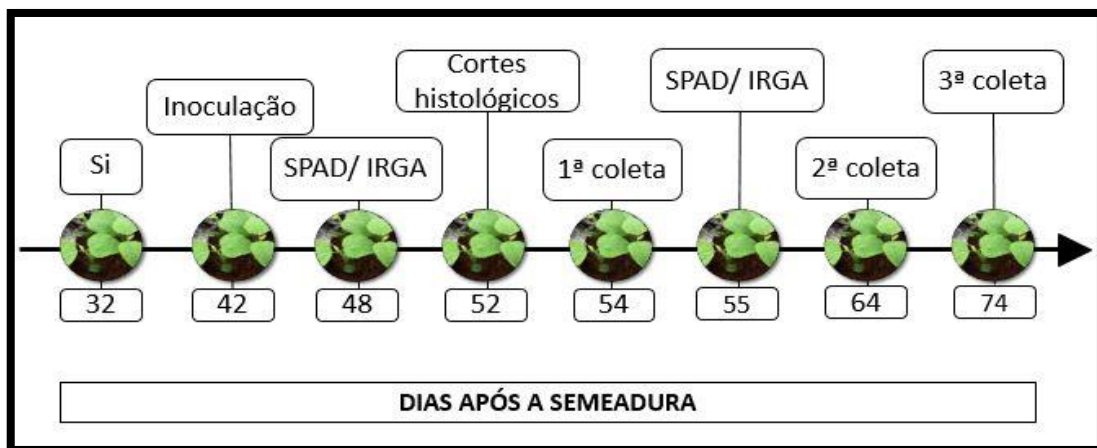


FIGURA 6. Distribuição temporal de atividades e avaliações realizadas no experimento.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Efeito do silício sobre a severidade da ferrugem asiática da soja em diferentes variedades de soja.

A interação entre as variedades analisadas e a presença do nutriente foi significativa apenas para a espessura da epiderme. Desta forma, para o número de lesões, urédias abertas (UA), fechadas (UF), totais (UT) e porcentagem de urédias abertas (%UA) apenas os fatores isoladamente foram significativos (Anexo A).

Para o número de lesões, de urédias abertas e totais de *P. pachyrhizi*, observa-se que aos 12 DAI os maiores resultados foram observados nas variedades suscetíveis (CD 202 e MSOY 6410) e não houve diferença significativa entre as plantas com e sem silício. Em relação ao número de urédias fechadas aos 12 DAI, a variedade MSOY 6410 obteve maior valor que as variedades resistentes (TMG 7061 IPRO e TMG 7062 IPRO) e se igualou à CD 202 (Quadro 1).

QUADRO 1. Número de lesões, urédias abertas (UA), urédias fechadas (UF) e urédias totais (UT), por folíolo de soja, de *P. pachyrhizi* aos 12 dias após a inoculação (DAI) em variedades de soja cultivadas com e sem adição de silício em casa de vegetação.

FONTES DE VARIACÃO VARIEDADES	LESÕES¹	UA¹	UF¹	UT¹
TMG 7061 IPRO	6,2 B	6,2 B	5,0 BC	11,4 B
TMG 7062 IPRO	4,5 B	5,1 B	1,3 C	6,5 B
CD 202	27,4 A	101,7 A	16,9 AB	120,3 A
MSOY 6410	23,3 A	63,2 A	23,0 A	86,6 A
SILÍCIO				
- Si	13,9 A	34,5 A	7,1 A	42,2 A
+ Si	13,1 A	30,9 A	12,4 A	44,1 A
CV	38,90%	40,95%	44,05%	40,56%

¹Análise considerando dados médios por folíolo coletado; (-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si para as variedades ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras iguais na coluna não diferem entre si para as diferentes condições de silício pelo teste F a 5% de probabilidade.

Santos et al. (2007) relatam que pode-se agrupar genótipos de soja como sendo parcialmente resistentes a partir da análise da severidade (número de lesões, pústulas e AACPD) da doença, por apresentarem valor menor que variedades consideradas suscetíveis.

As variedades CD202 e TMG 7062 IPRO apresentaram maior porcentagem e urédias abertas (%UA) aos 12 DAI, porém não difere estatisticamente de MSOY 6410. Aos 22 DAI as variedades suscetíveis apresentaram porcentagem de urédias abertas superior à resistente TMG 7062 IPRO, demonstrando que houve um atraso no desenvolvimento da epidemia nessa variedade. Por fim, aos 32 DAI a variedade TMG 7062 IPRO se iguala às suscetíveis (Quadro 2).

QUADRO 2. Porcentagem de urédias abertas (%UA) de *P. pachyrhizi* em diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação e avaliados aos 12, 22 e 32 dias após a inoculação (DAI).

VARIEDADES	% UA		
	12 DAI	22 DAI	32 DAI
TMG 7061 IPRO	53,5 B	83,1 AB	64,6 B
TMG 7062 IPRO	82,2 A	72,3 B	92,2 AB
CD 202	85,6 A	87,3 A	88,9 A
MSOY 6410	71,9 AB	90,0 A	89,8 A
CV	14,29%	8,81%	14,18%

CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

QUADRO 3. Porcentagem de urédias abertas (%UA) de *P. pachyrhizi* em folíolos de soja, cultivadas com e sem adição de silício em casa de vegetação.

SILÍCIO	%UA		
	12 DAI	22 DAI	32 DAI
- Si	80,759 A	83,989 A	84,008 A
+ Si	66,997 B	83,469 A	80,754 A
CV	14,29%	8,81%	14,18%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste F.

As plantas cultivadas sem adição de silício apresentaram porcentagem de urédias abertas superior que das plantas com adição do nutriente aos 12 DAI (Quadro 3), ou seja, nas plantas com adição de Si o período latente do patógeno foi prolongado atrasando o desenvolvimento da epidemia do fungo, já que aos 22 e 32 DAI não foram observadas diferenças entre os tratamentos com e sem adição de silício.

Segundo Fauteux et al. (2005), o Si interage bioquimicamente na planta e pode ser comparado a ativadores conhecidos, como os mensageiros secundários da resistência sistêmica adquirida, em que atuaria como um modulador influenciando o tempo e a extensão das respostas de defesa das plantas. Como mensageiros secundários, os efeitos do Si no metabolismo secundário são significativos apenas após a elicitação; tanto o Si e os ativadores conhecidos são caracterizados por um efeito saturável. Este efeito após a elicitação poderia justificar porque as plantas expostas ao silício apresentaram, aos 12 DAI, menor porcentagem de urédias abertas quando as plantas estavam supridas com o silício, e nos outros dias não houve mais diferença, pois o fornecimento do nutriente foi interrompido.

A soja e a maioria das plantas da família Fabaceae são consideradas plantas intermediárias no acúmulo de silício (MENECALE et al., 2015), sendo assim são mais difíceis de serem observadas respostas à aplicação desse elemento. Nesse contexto, as alterações na metodologia de disponibilidade desse elemento à planta, como aumento de dose, formas diferentes de aplicação no sulco ou em cobertura (JÚNIOR et al., 2010), diferentes fontes de silício, poderiam ser uma outra alternativa de fornecimento desse elemento às plantas, com o objetivo de se testar outras opções.

Para a variável espessura da epiderme houve interação significativa entre o fator variedades e presença de silício (Quadro 4).

A variedade com maior espessura de epiderme, na ausência do Si, foi a TMG 7061 IPRO porém não diferiu da CD 202, e com adição do nutriente não houve diferença significativa entre as variedades. Contudo, quando observa-se o efeito do silício dentro das variedades, nota-se que na variedade resistente TMG 7062 IPRO, as plantas tratadas com silício apresentaram a espessura significativamente maior do que sem o nutriente.

QUADRO 4. Espessura da epiderme celular (μm) em folíolos de diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício.

VARIEDADES	ESPESSURA DA EPIDERME (μm)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	19,368 Aa	18,080 Aa
TMG 7062 IPRO	15,130 Cb	18,383 Aa
CD 202	18,990 ABa	18,668 Aa
MSOY 6410	16,092 BCa	17,994 Aa
CV	9,17%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letra maiúscula compara diferentes variedades dentro da mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letra minúscula compara diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Pozza et al. (2004) observaram que a presença de uma cutícula mais espessa na superfície inferior da folha das plantas tratadas com silício ocorreu devido à camada de cera epicuticular ser mais desenvolvida. Essa camada pode ter tornado a superfície hidrofóbica, impedindo a formação do filme de água, importante para os processos vitais da patogênese como a germinação e a penetração, além de permitir o acúmulo de substâncias antifúngicas na cutícula. Portanto, a cutícula mais espessa pode explicar em grande parte a redução do número de lesões de *Cercospora coffeicola* em duas variedades de café, Mundo Novo e Catuaí.

Após o contato de *P. pachyrhizi* com o hospedeiro os urediniósporos rapidamente germinam levando ao desenvolvimento de um apressório, que penetra diretamente na epiderme ou em estômatos. As células epidérmicas penetradas tornam-se principalmente necróticas e o fungo invade o mesófilo. Depois, forma o primeiro septo e as hifas crescem no espaço intercelular do mesófilo. Dias depois, os urediniósporos recém desenvolvidos completam o ciclo assexuado (KOCH e HOPE, 1988; citados por HOEFLE et al., 2009). Assim, acredita-se que a espessura da epiderme mais desenvolvida no presente estudo, possa ter interferido nos processos de penetração e germinação do fungo *P. pachyrhizi*, atrasando o desenvolvimento da epidemia e reduzindo o número de urédias totais na variedade TMG 7062 IPRO, e porcentagem de urédias abertas na variedade TMG 7061 IPRO.

Com relação as imagens obtidas dos cortes histológicos feitos nos folíolos, constatou-se que os folíolos que foram tratados com adição de silício a porcentagem de urédias fechadas (%UF) foi de 45,62%, enquanto que nas plantas sem suprimento

de silício foi de 40,07% (Figura 7). Esses dados corroboram com Cruz et al. (2012) que verificaram que nos folíolos das plantas com adição do silício as urédias de *P. pachyrhizi* encontravam-se, na sua maioria, fechadas.

Bélangier et al. (2003) constataram, analisando células epidérmicas de plantas de trigo inoculadas com *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, um patógeno biotrófico, e tratadas com adição de silício, três reações das plantas à infecção pelo fungo: (i) formação de papila impedindo a penetração; (ii) reação de hipersensibilidade com a morte das células próximas ao local de infecção; e (iii) acúmulo de compostos fenólicos que causam um efeito tóxico no haustório do fungo.

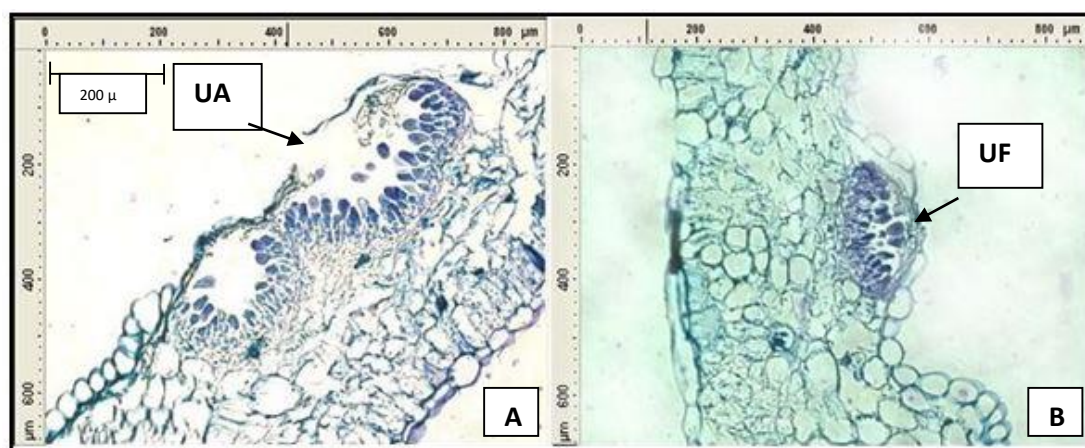


FIGURA 7. Imagens obtidas dos cortes histológicos dos folíolos de planta de soja sem adição de silício (A) e com adição de silício (B). UA: urstia aberta; UF: urstia fechada.

Na análise de variância da área abaixo da curva de progresso da doença (AACP) (Anexo B) constata-se que não houve interação significativa entre as variedades e às condições de silício. Sendo assim são analisados os fatores isoladamente para, a AACP de, lesão, urstias abertas, urstias fechadas e urstias totais.

Na AACP de urstias abertas, fechadas, totais e lesão, as variedades resistentes foram significativamente menores que às variedades suscetíveis (Quadro 5), corroborando com o fato de que a espessura da epiderme mais espessa da variedade TMG 7062 IPRO também pode ter colaborado para uma menor AACP e, como consequência, interferido no processo de patogênese do fungo atrasando o desenvolvimento da epidemia.

QUADRO 5. Área abaixo da curva de progresso (AACP) de: urédias abertas (UA), urédias fechadas (UF), urédias totais (UT) e lesões, de variedades de soja cultivadas em casa-de-vegetação.

VARIEDADES	AACP			
	UA	UF	UT	LESÃO
TMG 7061 IPRO	1192,916 B	305,106 B	1125,338 B	414,166 C
TMG 7062 IPRO	791,665 B	219,373 B	1151,455 B	308,437 C
CD 202	1085,313 A	1095,728 A	9147,922 A	2217,396 A
MSOY 6410	6208,436 A	849,687 A	7033,125 A	1514,792 B
CV	46,92%	59,20%	33,46%	40,58%

CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Apoiando os dados do presente estudo, Azevedo et al. (2007), estudando o período latente, número de pústulas de *P. pachyrhizi* por cm², AACP e severidade de ferrugem asiática da soja através da porcentagem da folha infectada, demonstraram que tais valores de severidade são menores em variedades resistentes ao fungo. Meneghetti et al. (2010) também relatam que tais variáveis têm valores diferentes quando compara-se variedades resistentes e suscetíveis, sendo os menores valores nos genótipos que apresentam resistência à doença.

Quando se analisa o fator silício de forma isolada, observa-se que a AACP de urédias totais (UT) foi significativamente maior nas plantas sem adição de silício enquanto que nas demais variáveis, AACP lesão, AACP urédias abertas (UA) e AACP urédias fechadas (UF) não houve diferença significativa entre os tratamentos (Quadro 6).

Lemes et al. (2011) realizaram ensaios em condições de casa de vegetação e a campo para analisar os efeitos de diferentes aplicações de silício sobre o desenvolvimento da ferrugem asiática na soja e constataram que a AACP (a partir da escala de Horsfall-Barrat) foi cerca de 89% menor nas plantas de soja que foram submetidas à adição de silício quando comparado à testemunha (sem adição de silício). Santos et al. (2003) observaram em arroz irrigado que a severidade de brusone nas panículas e folhas, mancha-parda na folha “bandeira” e mancha-dos-grãos foi reduzida com aumentos na dose de metassilicato aplicada.

QUADRO 6. Área abaixo da curva de progresso (AACP) de: urédias abertas (UA), urédias fechadas (UF), urédias totais (UT) e lesão, em plantas de soja com e sem adição de silício.

Silício	AACP			
	LESÃO	UA	UF	UT
- Si	1265,104 A	4406,249 A	689,010 A	5377,621 A
+ Si	962,291 A	3232,249 A	545,938 A	4051,298 B
CV	40,58%	46,92%	59,20%	33,46%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Utilizando variedades de arroz com diferentes níveis de resistência à queimadas-bainhas, Rodrigues et al. (2001) verificaram que o fornecimento de silício reduziu a severidade desta doença. Os autores sugerem que essa redução pode ser pela possibilidade de complexação do Si em compostos fenólicos na parede celular das células da epiderme que pode reduzir e dificultar a expansão das lesões, bem como a intensidade da doença, por tornar as células mais rígidas.

A complexação do Si em compostos fenólicos na parede celular pode interferir na epidemiologia da doença por reduzir a penetração, assim como contribuir para menor esporulação do fungo (POZZA et al., 2004) através de uma menor AACP de urédias totais.

B. Efeito do silício sobre o metabolismo fotossintético em diferentes variedades de soja.

A interação entre variedades e silício não foi significativa para taxa fotossintética (A) aos 48 dias após a semeadura, sendo apresentados apenas os fatores isolados (Anexo C). Entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre as diferentes variedades e condições de silício (Quadro 7).

QUADRO 7. Taxa fotossintética (A) de folíolos de diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação aos 48 dias após a semeadura (DAS) com e sem adição de silício.

FONTES DE VARIAÇÃO	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
VARIEDADES	
TMG 7061 IPRO	13,261 A
TMG 7062 IPRO	13,075 A
CD 202	11,405 A
MSOY 6410	10,211 A
SILÍCIO	
- Si	11,61 A
+Si	12,35 A
CV	21,58%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente para as variedades ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras iguais não diferem significativamente entre si para as diferentes condições de silício pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Já aos 55 DAS, houve interação entre os fatores para a taxa fotossintética (Quadro 8). A variedade CD 202 apresentou maior fotossíntese que as demais variedades na condição de adição de silício, e ainda quando compara-se as condições de silício dentro da mesma variedade, nota-se que a fotossíntese da mesma foi maior com a adição do nutriente, sugerindo que, o silício auxiliou na manutenção do aparato fotossintético.

Correlacionando com a severidade da doença para a variedade CD 202 (Quadro 1), nota-se que os valores de lesões, urédias abertas, urédias fechadas e urédias totais, foram altos. Portanto, enquanto a planta estava sofrendo dano por causa da infecção do patógeno, o silício auxiliou na manutenção do aparato fotossintético da mesma. Polanco et al. (2014) verificaram que a taxa fotossintética de plantas de feijão inoculadas com *Colletotrichum lindemuthianum* e tratadas com silício foi superior que às testemunhas (plantas sem adição do nutriente). Nas plantas inoculadas e com Si houve menor concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) apoiando a hipótese de que Si fornece um efeito benéfico para as plantas que sofrem grande oxidação, dano devido a infecção do patógeno, como é o caso de *C. lindemuthianum*. No geral, os autores mostraram que atividades de superóxido desmutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e glutatona redutase (GR) foram maiores nas folhas de plantas

supridas com Si, o que poderia contribuir para limitar o dano tecidual causado pela infecção por *C. lindemuthianum*.

QUADRO 8. Taxa fotossintética (A) de folíolos de diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação aos 55 dias após a semeadura (DAS) com e sem adição de silício.

VARIEDADES	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	7,52 ABa	5,59 Ba
TMG 7062 IPRO	7,42 ABa	7,12 Ba
CD 202	8,52 Ab	11,59 Aa
MSOY 6410	5,70 Ba	7,43 Ba
CV	17,37%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Não houve interação significativa entre os fatores para a variável de condutância estomática (gs) aos 48 e aos 55 dias após a semeadura (DAS), sendo apresentado apenas os fatores isoladamente (Quadro 9).

As variedades resistentes TMG 7062 IPRO e TMG 7061 IPRO apresentaram maior condutância estomática (gs) aos 48 e 55 DAS, respectivamente, quando comparadas a variedade suscetível MSOY 6410 (Quadro 9). Procópio et al. (2004), estudando as características fisiológicas das culturas de soja (variedade UFV-19) e feijão (variedade Pérola), constataram que há uma relação entre fotossíntese e condutância estomática, pois a entrada de CO_2 na planta é reduzida possivelmente por causa da diminuição da condutância estomática, dessa forma a fotossíntese tende a diminuir também pelo menor fluxo de CO_2 .

A severidade da doença na variedade MSOY 6410 (Quadro 1) foi alta, o que pode ter interferido na condutância estomática, conferindo-lhe baixo valor, devido aos danos causados pelo patógeno na planta.

A condutância estomática não apresentou diferença significativa entre as plantas com e sem adição de silício aos 48 e 55 DAS (Quadro 9).

QUADRO 9. Condutância estomática (gs) de folíolos de diferentes variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS).

FONTES DE VARIAÇÃO		gs (mol H₂O m⁻²s⁻¹)	
VARIEDADES	48 DAS	55 DAS	
TMG 7061 IPRO	0,303 AB	0,281 A	
TMG 7062 IPRO	0,342 A	0,253 AB	
CD 202	0,251 AB	0,222 B	
MSOY 6410	0,207 B	0,223 B	
SILÍCIO			
-Si	0,263 A	0,246 A	
+Si	0,288 A	0,245 A	
CV	30,40%	13,86%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente para as variedades ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras iguais não diferem significativamente entre si para as diferentes condições de silício pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Para a transpiração foliar (E), a interação foi significativa entre os fatores somente aos 48 DAS. As variedades com adição de silício não apresentaram médias significativamente diferentes entre si (Quadro 10). Já nas plantas sem adição do silício, as variedades resistentes (TMG 7061 IPRO e TMG 7062 IPRO) apresentaram transpiração foliar superior à suscetível MSOY 6410. Com relação a variedade MSOY 6410, observa-se que quando esta foi tratada com silício as plantas apresentaram maior transpiração foliar do que sem a presença do mesmo, igualando o valor da transpiração às demais variedades.

Aos 55 DAS não houve interação entre os fatores para a transpiração foliar, sendo apresentados os fatores isoladamente. As variedades resistentes apresentaram valores de transpiração foliar superiores às demais e quando compara-se as duas variedades suscetíveis, a CD 202 foi superior à MSOY 6410. Nas plantas tratadas com o silício, a transpiração foliar foi significativamente maior que nas plantas sem adição do nutriente, mostrando que o nutriente tem efeito sobre esta variável nesta época de avaliação (Quadro 11).

QUADRO 10. Transpiração foliar - E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de folíolos de variedades de soja aos 48 dias após a semeadura (DAS) cultivadas com e sem adição de silício.

VARIEDADES	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	3,530 Aa	3,027 Aa
TMG 7062 IPRO	3,557 Aa	3,280 Aa
CD 202	3,115 ABa	3,380 Aa
MSOY 6410	2,352 Bb	3,345 Aa
CV	16,90%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

QUADRO 11. Transpiração foliar (E) aos 55 dias após a semeadura (DAS) em diferentes variedades de soja cultivadas com e sem adição de silício.

FONTES DE VARIAÇÃO VARIEDADES	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
TMG 7061 IPRO	3,850 A
TMG 7062 IPRO	4,185 A
CD 202	2,760 B
MSOY 6410	2,303 C
SILÍCIO	
- Si	3,161 B
+ Si	3,338 A
CV	8,18%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente para as variedades ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras iguais não diferem significativamente entre si para as diferentes condições de silício pelo teste F a 5 % de probabilidade.

O fato das variedades resistentes apresentarem valores superiores de transpiração que às variedades suscetíveis aos 55 DAS, pode estar relacionado à sua maior capacidade de atrasar inicialmente o progresso da doença (Quadros 1 e 2), que pode estar associada à melhoria da eficiência fotossintética. GAO et al. (2011), estudaram a resistência do arroz à *Magnaporthe oryzae* pelo suprimento de silício e constataram que este elemento está associado ao aumento da eficiência fotoquímica em plantas de arroz infectadas.

Tatagiba et al. (2016) demonstram que a performance fotossintética de plantas de arroz infectadas com *Monographella albescens* foi preservada através do suprimento da planta com silício, além de aumentar a resistência da mesma contra a doença. Em um estudo realizado com feijão cv. Pérola, a suplementação com silício também possibilitou limitar os prejuízos na fotossíntese de plantas com a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) demonstrado pelos valores significativamente altos de taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração foliar nas horas após à inoculação, quando comparados à testemunha (POLANCO et al., 2014).

Em relação a taxa de carbono interno (Ci), houve interação significativa entre os fatores aos 48 DAS. Para as plantas sem a presença de silício não foi observada diferença significativa entre as variedades, sendo que na variedade CD 202 a presença de silício proporcionou maior Ci, quando comparada ao tratamento sem a adição do nutriente (Quadro 12). Outra vez, o silício teve um efeito benéfico na planta, resultando numa maior taxa de carbono interno auxiliando na manutenção do aparato fotossintético no início da infecção do patógeno (Figura 6).

QUADRO 12. Taxa carbono interno - Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) de folíolos de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).

VARIETADES	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	320,250 Aa	263,250 Ba
TMG 7062 IPRO	308,750 Aa	302,000 ABa
CD 202	275,750 Ab	347,250 Aa
MSOY 6410	247,000 Aa	303,750 ABa
CV	13,81%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Para a taxa de carbono interno (Ci) aos 55 DAS, a interação não foi significativa entre os fatores, sendo eles analisados isoladamente (Quadro 13). A variedade CD 202 apresentou menor Ci quando comparada a variedade TMG 7061 IPRO e MSOY 6410, e a presença ou a ausência de silício não interferiram nos valores de Ci aos 55 dias.

QUADRO 13. Taxa de carbono interno (Ci) de folíolos de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).

FONTES DE VARIAÇÃO	
VARIEDADES	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
TMG 7061 IPRO	346,125 A
TMG 7062 IPRO	323,375 AB
CD 202	308,750 B
MSOY 6410	338,000 A
SILÍCIO	
- Si	333,500 A
+ Si	324,625 A
CV	6,35%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente para as variedades ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras iguais não diferem significativamente entre si para as diferentes condições de silício pelo teste F a 5 % de probabilidade.

A interação entre os fatores variedades e aplicação do silício foi significativa para a eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g) aos 48 DAS (Anexo D).

Para a A/E observa-se que as variedades não diferiram entre si quando não tratadas com silício. Porém, nos tratamentos com adição do silício a variedade resistente TMG 7061 IPRO apresentou maior A/E que a suscetível MSOY 6410. Com relação as condições de silício dentro da variedade TMG 7061 IPRO o valor de A/E foi maior com adição do silício do que sem o nutriente (Quadro 14). Sendo assim, o silício auxiliou na manutenção da eficiência instantânea do uso da água, nesta variedade, no início da infecção do fungo (Figura 6).

Para a eficiência intrínseca do uso da água (A/g) aos 48 DAS, a variedade MSOY 6410 na ausência de silício, apresentou valor superior quando comparada com a presença do nutriente. Além disso, na presença do nutriente as variedades diferiram entre si, entretanto sem adição de silício a MSOY 6410 obteve maior valor de A/g que a TMG 7062 IPRO (Quadro 15).

QUADRO 14. Eficiência instantânea do uso da água - A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).

VARIEDADES	A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	3,58 Ab	4,93 Aa
TMG 7062 IPRO	3,39 Aa	4,25 ABa
CD 202	3,87 Aa	3,22 ABa
MSOY 6410	4,43 Aa	3,12 Ba
CV	23,69%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

QUADRO 15. Eficiência intrínseca do uso da água - A/gS ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).

VARIEDADES	A/gS ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	43,08 ABa	58,09 Aa
TMG 7062 IPRO	35,24 Ba	41,34 Aa
CD 202	54,72 ABa	40,29 Aa
MSOY 6410	74,95 Aa	41,08 Ab
CV	34,77%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Em relação a eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci), não houve interação entre os fatores aos 48 DAS, sendo eles analisados isoladamente. Não foi observado diferença significativa entre as variedades e diferentes condições de silício (Quadro 16).

QUADRO 16. Eficiência instantânea da carboxilação - A/Ci ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}/ \mu\text{mol}^{-1}$ H_2O) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).

FONTES DE VARIAÇÃO	Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
VARIEDADES	
TMG 7061 IPRO	0,047 A
TMG 7062 IPRO	0,042 A
CD 202	0,038 A
MSOY 6410	0,037 A
SILÍCIO	
- Si	0,042 A
+ Si	0,041 A
CV	29,00%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente para as variedades ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras iguais não diferem significativamente entre si para as diferentes condições de silício pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Aos 55 DAS foi observado interação significativa entre os fatores variedade e aplicação de silício para a eficiência instantânea do uso da água (A/E) e eficiência instantânea da carboxilação - A/Ci (Anexo D).

As variedades suscetíveis (CD 202 e MSOY 6410) apresentaram maior A/E quando compradas às resistentes TMG 7061 IPRO e TMG 7062 IPRO nas duas condições de silício. Entretanto, quando se observa dentro de cada variedade, a CD 202 foi superior na presença do nutriente (Quadro 17).

Em relação a A/Ci, a variedade suscetível CD 202 apresentou maior eficiência que as demais variedades na condição de presença do silício. Quando se observa as duas condições de silício dentro dessa variedade, novamente a adição do nutriente proporcionou maior valor de A/Ci (Quadro 18).

Aos 55 DAS, na variedade CD 202, a eficiência instantânea do uso da água (A/E) e a eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) foram maiores com a presença do Si, demonstrando que esta variedade usou a água de maneira mais eficiente que as demais, na condição de adição do nutriente, mesmo sofrendo danos causados pelo patógeno caracterizado pela alta severidade da doença (Quadro 1).

QUADRO 17. Eficiência instantânea do uso da água - A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).

VARIEDADES	A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	2,017 BCa	1,41 Ca
TMG 7062 IPRO	1,75 Ca	1,76 Ca
CD 202	3,29 Ab	3,97 Aa
MSOY 6410	2,71 ABa	2,98 Ba
CV	16,71%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

QUADRO 18. Eficiência instantânea da carboxilação - A/Ci ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}/ \mu\text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).

VARIEDADES	A/Ci ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}/ \mu\text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	0,021 ABa	0,016 Ba
TMG 7062 IPRO	0,022 ABa	0,022 Ba
CD 202	0,026 Ab	0,038 Aa
MSOY 6410	0,016 Ba	0,022 Ba
CV	21,61%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Não houve interação entre os fatores para a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) aos 55 DAS, sendo assim os valores foram analisados isoladamente. Observa-se que a variedade CD 202 apresentou maior valor de A/g_s que as demais variedades e as diferentes condições de silício não diferiram entre si (Quadro 19).

QUADRO 19. Eficiência intrínseca do uso da água (A/g) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).

FONTES DE VARIAÇÃO	
VARIEDADES	A/g
TMG 7061 IPRO	23,49 B
TMG 7062 IPRO	29,64 B
CD 202	45,42 A
MSOY 6410	31,06 B
SILÍCIO	
- Si	30,21 A
+ Si	34,21 A
CV	22,66 %

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente para as variedades ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras iguais não diferem significativamente entre si para as diferentes condições de silício pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Para a temperatura foliar foi observada interação significativa para as variedades e presença do Si aos 48 e 55 DAS (Anexo E).

As variedades suscetíveis (CD 202 e MSOY 6410) apresentaram maior temperatura foliar que as variedades resistentes (TMG 7061 IPRO e TMG 7062 IPRO) aos 48 DAS. Temperaturas entre 15 e 28°C, com 6 a 12 h de molhamento na superfície das folhas, são condições ideais para infecção de *P. pachyrhizi* em plantas de soja (MELCHING et al., 1989; citado por FIALLOS, 2011). Nesse ensaio, tais condições foram impostas para que a infecção do fungo ocorresse. Entretanto, os valores da temperatura ambiente e foliar podem diferir.

Os valores de temperatura foliar nas variedades que obtiveram maior severidade da doença (Quadro 1) podem ser explicados como uma reação da planta em impedir que o patógeno continuasse a infecção, através da mudança de temperatura foliar. Bernard et al. (2013) realizaram experimentos em condições controladas com plantas adultas de trigo para caracterizar a resposta de três isolados de *Mycosphaerella graminicola* a uma ampla faixa de temperaturas foliares. A temperatura das folhas teve impacto na dinâmica da doença e o período latente de *M. graminicola* foi relacionado à temperatura foliar por uma relação quadrática. Para os três isolados estudados, o período latente diminuiu com o aumento da temperatura média das folhas, e assim, a

curva de desempenho térmico de um patógeno foliar fúngico foi estabelecida usando a temperatura foliar.

Além disso, a temperatura foliar foi maior na ausência do silício em cada uma das variedades quando comparada na presença do nutriente (Quadro 20).

Já aos 55 DAS, as variedades resistentes alcançaram maiores temperaturas foliares que as suscetíveis e, as plantas com adição de silício também apresentaram temperatura foliar superior que as sem silício, em cada uma das variedades (Quadro 21). Nessa mesma época de avaliação, a transpiração foliar também foi maior nas variedades resistentes e nas plantas com adição de silício (Quadro 11), esses valores mais elevados podem ser justificados pela reação da planta de reduzir a temperatura foliar, que também foi maior nas plantas com silício, através da transpiração, uma vez que a doença estava desenvolvida.

Lindenthal et al. (2004) estabeleceram uma correlação entre a transpiração do tecido foliar de pepino com a temperatura foliar, de maneira linear negativa. Áreas foliares colonizadas por *Pseudoperonospora cubensis* apresentaram uma diminuição pré-sintomática da temperatura foliar até 0,8°C mais baixa que o tecido não infectado, devido a abertura estomática. O aparecimento de clorose foi relacionado a um efeito de resfriamento causado pela perda de integridade das membranas celulares, ou seja, uma quantidade maior de água apoplástica no tecido infectado, o que interfere na temperatura foliar.

QUADRO 20. Temperatura foliar (°C) de folíolos de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 dias após a semeadura (DAS).

VARIETADES	TEMPERATURA FOLIAR (°C)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	31,750 Ba	31,275 Bb
TMG 7062 IPRO	31,549 Ba	30,900 Cb
CD 202	32,150 Aa	31,975 Ab
MSOY 6410	32,299 Aa	32,125 Ab
CV	0,33%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

QUADRO 21. Temperatura foliar (°C) de folíolos de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 55 dias após a semeadura (DAS).

VARIETADES	TEMPERATURA FOLIAR (°C)	
	- Si	+ Si
TMG 7061 IPRO	32,099 Bb	32,799 Ba
TMG 7062 IPRO	33,600 Ab	34,325 Aa
CD 202	29,050 Cb	30,550 Ca
MSOY 6410	27,650 Db	28,350 Da
CV	0,91%	

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas comparam diferentes variedades dentro de uma mesma condição de silício ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Letras minúsculas comparam diferentes condições de silício dentro da mesma variedade ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Em relação ao índice de clorofila, não houve interação significativa entre os fatores aos 48 e 55 DAS. Analisando os fatores isoladamente nas duas épocas de avaliação, as variedades resistentes obtiveram maior índice de clorofila que às suscetíveis e não foram observadas diferenças significativas entre as plantas com e sem adição de silício (Quadro 22).

Freitas et al. (2011) analisando os efeitos da adubação com silicato de potássio em plantas de milho, também observaram que não houve alteração no índice de clorofila em função das diferentes doses e épocas de aplicação do silício.

Já, Locarno et al. (2011), estudando a influência da adubação silicatada no teor de clorofila em folhas de roseira, constataram que o mesmo aumentou nas doses de 0,25 e 0,50% de silicato de potássio na calda de pulverização, quando comparada a dose de 0,75%. Ávila et al. (2010) constataram que o silício elevou os valores do índice de clorofila, teores de clorofila *a* e *b*, os teores de nitrato nas raízes e o número de panículas em arroz cultivado sob solução nutritiva, particularmente quando as doses de Si (0 e 50 mg L⁻¹) estavam associadas à doses elevadas de nitrogênio (200 e 400 mgL⁻¹).

QUADRO 22. Índice de clorofila (SPAD) de variedades de soja cultivadas em casa de vegetação com e sem adição de silício aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS).

FONTES DE VARIAÇÃO	ÍNDICE DE CLOROFILA	
	48 DAS ²	55 DAS
VARIEDADES		
TMG 7061 IPRO	43,862 A	46,875 A
TMG 7062 IPRO	42,762 A	46,962 A
CD 202	35,100 B	39,275 B
MSOY 6410	35,075 B	34,775 B
SILÍCIO		
- Si	38,612 A	42,018 A
+ Si	39,787 A	41,925 A
CV	8,10%	18,58%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem na coluna dentro de uma mesma fonte de variação ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Diferenças no acúmulo de silício nas espécies têm sido associadas às diferenças na densidade das rotas dos transportadores de Si, assim como os mecanismos distintos de transporte do silício pelo xilema (PILON-SMITS et al., 2009). Como já foi citado, a soja é acumuladora intermediária desse elemento benéfico. Desta forma, novos estudos com diferentes fontes, doses e formas de aplicação do silício devem ser realizados, a fim de esclarecer como sua função é desempenhada nessa espécie de planta.

2.4. CONCLUSÃO

A adição do silício pode causar um aumento no período latente da doença, atrasando a abertura de urédias o que reduz a liberação de esporos pelo patógeno.

Na variedade CD 202, o silício tem um efeito positivo nas trocas gasosas através da manutenção do metabolismo fotossintético.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. DE A. A. **Ferrugem Asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira 11**. Embrapa, 12 p. , 2002. (Circular Técnica).

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

ÁVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**. v. 41, n. 2, p. 184–190, 2010.

AZEVEDO, L. A. S. DE; JULIATTI, F. C.; BARRETO, M. Resistência de genótipos de soja à *Phakopsora pachyrhizi*. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 3, p. 252–257, 2007.

BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological Evidence of an Active Role of Silicon in Wheat Resistance to Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). **Phytopathology**, v. 93, n. 4, p. 402–412, 2003.

BERNARD, F.; SACHE, I.; SUFFERT, F.; CHELLE, M. The development of a foliar fungal pathogen does react to leaf temperature. **New Phytologist**, v. 198, p 232–230, 2013.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. John Wiley & Sons, 1990. 532 p.

CHÉRIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 41, n. 6, p. 411–425, 1992.

COODETEC – **Tecnologia da nossa terra: Características CD 202**. Disponível em: < http://www.coodetec.com.br/php/detalhes_cultivar.php?id=20>. Acesso em:10/10/2018.

CRUZ, M. F. A.; SILVA, L. F.; RODRIGUES, F. A.; ARAUJO, J. M.; BARROS, E. G. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 142–145, 2012.

DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; CHAVES, A. R. M.; VALE, F. X. R., DAMATTA, F. M. Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon uptake in rice plants infected with *Bipolaris oryzae*. **Plant Pathology**, v. 62, n. 1, p. 120–129, 2013.

DAYKIN, N. E.; HUSSEY, R. S. Staining and histopathological techniques in

nematology. Advance Treatise on Meloidogyne. **North Caroline State University Grafics**, 39–48, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: Região central do Brasil**. 2014. (Sistemas de produção). 266 p.

FAGAN, E. B.; NETO, D. D.; VIVIAN, R.; FRANCO, R. B.; YEDA, M. P.; MASSIGNAM, L. F.; OLIVEIRA, R. F.; MARTINS, K. V. Efeito da aplicação de piraclostrobina na taxa fotossintética, respiração, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade de grãos de soja. **Bragantia**, v. 69, n.4, p. 771-777, 2010.

FAUTEUX, F.; RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, v. 249, n. 1, 1–6, 2005.

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.

FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**. v. 58, n. 2, p. 262–267, 2011.

GAO, D.; KUNZHENG C.; CHEN, J.; LUO, S.; ZENG, R.; YANG, J.; ZHU, X. Silicon enhances photochemical efficiency and adjusts mineral nutrient absorption in *Magnaporthe oryzae* infected rice plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 3, p. 675–682, 2011.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; BORGES, E. P.; ANDRADE, E. R.; SIQUERI, F. V. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2015/16: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. 2018 (Circular Técnica, 138). 8 p.

HAGQUIST, C. W. Preparation and care of microscope slides. **The American Biology Teacher**, v. 36, p. 414–417, 1985.

HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. **Manual de Identificação de Doenças de Soja**. Embrapa, 2010. (Documentos). 73 p.

HOEFLE, C.; LOEHRER, M.; SCHAFFRATH, U.; FRANK, M.; SCHULTHEISS, H.; HÜCKELHOVEN, R. Transgenic suppression of cell death limits penetration success of the soybean rust fungus *Phakopsora pachyrhizi* into epidermal cells of Barley. **Pytopathology**, v. 99, n. 3, p. 220-226, 2009.

ITO, M. F. Principais doenças da cultura da soja e manejo integrado. In: 1º ENCONTRO TÉCNICO SOBRE AS CULTURAS DA SOJA E DO MILHO NO NOROESTE PAULISTA, n. 3, 2013. **Nucleus**. p. 83–101.

JÚNIOR, P. P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.; CORRÊA, L. V. T.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência Agrotecnológica**, v. 34, n. 4, p. 908–913, 2010.

KIM, S. G.; KIM, K. W.; PARK, E. Q.; CHOI, D. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. **Phytopathology**, v. 92, n. 10, p. 1095–1103, 2002.

KOLESNIKOV, M. P.; GINS, V. K. Forms of silicon in medicinal plants. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 37, n. 5, p. 524–527, 2001.

KORNDORFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 355–364.

LEMES, E. M.; MACKOWIAK, C. L.; BLOUNT, A.; MAROIS, J. J.; WRIGHT, D. L.; COELHO, L.; DATNOFF, L.E. Effects of silicon applications on soybean rust development under greenhouse and field conditions. **Plant Disease**, v. 95, n. 3, 317–324, 2011.

LINDENTHAL, M.; STEINER, U.; DEHNE, H.-W.; OERKE, E.-C. Effect of downy mildew development on transpiration of cucumber leaves visualized by digital infrared thermography. **Phytopathology**, v. 95, n. 3, p. 233-240, 2005.

LOCARNO, M.; FOCHI, C. G.; PAIVA, P. D. O. influência da adubação silicatada no teor de clorofila em folhas de roseira. **Ciência Agrotecnológica**, v. 35, n. 2, p. 287–290, 2011.

LUX, A.; LUXOVÁ, M.; HATTORI, T.; INANAGA, T.; SUGIMOTO Y. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) variedades with different drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 115, n. 1, p. 87–92, 2002.

MENDES, M. A. S.; FREITAS, V. M. **Sigatoka-negra e ferrugem asiática: duas doenças de grande impacto econômico**. Embrapa, 2006. (Documentos). 15 p.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. especial, p. 435-454, 2015.

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

MONSOY – **Semeando o futuro: Variedade M6410**. Disponível em: <http://www.monsoy.com.br/variedades_2_monsoy/m6410-ipro/>. Acesso em: 10/10/2018.

PEREIRA, S. C.; RODRIGUES, F. A.; CARRÉ-MISSIO, V.; OLIVEIRA, M. G. A.; ZAMBOLIM, L. 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.

PEREZ, C. E. A.; RODRIGUES, F. A.; MOREIRA, W. R.; DAMATTA, F. M. Leaf gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence in wheat plants supplied with silicon and infected with *Pyricularia oryzae*. **Phytopathology**, v. 104, n. 2, p. 143-149, 2014.

PILON-SMITS, E. A. H.; QUINN, C. F.; TAPKEN, W. M.; MARIO SCHIAVON, M. Physiological functions of beneficial elements. **Elsevier**, v. 12, p. 267-274, 2009.

POLANCO, L. R.; RODRIGUES, F. A.; NASCIMENTO, K. J. T.; CRUZ, M. F. A.; CURVELO, C. R. S.; DAMATTA, F. M.; VALE, F. X. R. Photosynthetic gas exchange and antioxidative system in common bean plants infected by *Colletotrichum lindemuthianum* and supplied with silicon. **Tropical Plant Pathology**, v. 39, n. 1, p. 35-42, 2014.

POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 185-188, 2004.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; MARTINEZ, C. A.; WELANG, R. C. Características fisiológicas das culturas de soja e feijão e de três espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 211-216, 2004.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon and rice disease management. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 457-469, 2005.

RODRIGUES, F. A.; DUARTE, H. S. S.; DOMINICIANO, G. P.; SOUZA, C. A.; KORNDÖRFER, G. H.; ZAMBOLIM, L. Foliar application of potassium silicate reduces the intensity of soybean rust. **Australasian Plant Pathology**, v. 38, n. 4, p. 366-372, 2009.

RODRIGUES, F. Á.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of Silicon and Host Resistance on Sheath Blight Development in Rice. **Plant Disease**, v. 85, n. 8, p. 827-832, 2001.

RODRIGUES, F. Á.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. **Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas**. p. 14-20, 2011. (Informações agronômicas nº 134).

SANTOS, G. R.; KORNDÖRFER, G. H.; FILHO, J. C. R.; PELÚZIO, J. M. Adubação com silício: influência sobre as principais doenças e sobre produtividade do arroz irrigado por inundação. **Revista Ceres**, v. 287, n. 50, p. 1-8, 2003.

SANTOS, J. A.; JULIATTI, F. C.; SANTOS, V. A.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C.; HAMAWAKI, O. T. Caracteres epidemiológicos e uso de análise de agrupamento para resistência parcial à ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 443–447, 2007.

SHTIENBERG, D. Effects of foliar diseases on gas exchange processes: a comparative study. **Phytopathology**, v. 82, n. 7, p. 760-765, 1992.

SILVA, D. C. G. **Mapeamento de genes de resistência da soja à ferrugem asiática e análise transcricional na interação patógeno-hospedeiro**. 2008. 167 f. Tese. Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) – Unesp.

TATAGIBA, S. D.; DAMATTA, F. M.; RODRIGUES, F. A. Silicon partially preserves the photosynthetic performance of rice plants infected by *Monographella albescens*. **Annals of Applied Biology**, v. 168, n. 1, p. 111–121, 2016.

TROPICAL MELHORAMENTO & GENÉTICA – **TMG: Cultivar TMG 7061 IPRO**. Disponível em: <<http://www.tmg.agr.br/cultivar/tmg-7061-ipro>>. Acesso em: 10/10/2018a.

TROPICAL MELHORAMENTO & GENÉTICA – **TMG: Cultivar TMG 7062 IPRO**. Disponível em: <<http://www.tmg.agr.br/cultivar/tmg-7062-ipro>>. Acesso em: 10/10/2018b.

YOKOYAMA, A. H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.. **Evolução do índice de área foliar e índice spad da soja em função da densidade de semeadura**. XXXV Reunião de Pesquisa de Soja, Resumos expandidos, p. 21–23, 2016.

YORINORI, J. T. **Cancro da haste da soja: Epidemiologia e Controle**. Embrapa, 1996. (Circular Técnica 14). 78 p.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; JÚNIOR, L. A. Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas. **Os autores**, 2012. 367 p.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature-dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday high irradiance. **Photosynthetica**, v. 39, n. 3, p. 383–388, 2001.

CAPÍTULO II

EFEITO DO SILÍCIO NO CONTROLE DE MOFO BRANCO EM PLANTAS DE SOJA

RESUMO - As doenças estão entre os fatores que mais limitam a obtenção de alto rendimento na soja. O mofo branco causado por *Sclerotinia sclerotiorum* é uma das doenças mais antigas da cultura da soja (*Glycine max*) e em anos que ocorrem chuvas superiores à média pode causar danos severos e grandes perdas. As recomendações para o manejo integrado do mofo branco incluem medidas de controle cultural, biológico e químico. Trabalhos demonstram que o silício age no mecanismo de defesa das plantas, reduzindo a severidade de doenças causadas por fungos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do silício no controle de *S. sclerotiorum* em plantas de soja. Foi conduzido um ensaio em casa-de-vegetação localizada na Universidade Federal da Grande Dourados (Dourados – MS). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (4x2) onde foram avaliadas quatro variedades de soja (TMG 7061 IPRO, TMG 7062 IPRO, CD 202 e MSOY 6410) em duas condições (com e sem adição de silício), com 4 repetições. A inoculação foi no estágio V4 através de discos de micélio, fixado à axila do terceiro trifólio, proveniente de escleródios. Foram avaliados a incidência da doença, o comprimento da lesão (cm), a porcentagem de tecido vegetal com sintomas (%), área abaixo da curva de progresso (AACP) e incidência final da doença. A variedade CD 202 foi a mais suscetível à doença e a aplicação de silício via foliar não influenciou positivamente na redução da severidade do mofo branco. Entretanto, a AACP da incidência reduziu sob adição do nutriente. Novos estudos devem ser desenvolvidos para esclarecer qual o papel deste nutriente em plantas de soja contra patógenos necrotróficos.

Palavras-chave: *Sclerotinia sclerotiorum*, *Glycine max*, defesa das plantas.

EFFECT OF SILICON ON THE CONTROL OF SCLEROTINIA STEM ROT IN SOYBEAN PLANTS

ABSTRACT – Soybean diseases are among the factors that most limit the achievement of high yields. White mold (*Sclerotinia sclerotiorum*) is one of the oldest diseases of soybean (*Glycine max*) and in years that rainfall is higher than average can cause severe damage and great losses. Recommendations for the integrated management of white mold include cultural, biological and chemical control measures. Studies show that silicon acts on the plant defense mechanism, reducing the severity of diseases caused by fungi. The objective of this work was to evaluate the influence of silicon on the control of *S. sclerotiorum* in soybean plants. A greenhouse test was conducted at the Federal University of Grande Dourados (Dourados - MS). The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (4x2), where four soybean varieties (TMG 7061 IPRO, TMG 7062 IPRO, CD 202 and MSOY 6410) were evaluated in two conditions (with and without silicon addition), with 4 replicates. The inoculation was in stage V4 through mycelial discs fixed to the axilla of the third trifolium coming from sclerotia. The disease incidence, lesion length (cm), percentage of plant tissue with symptoms (%), area below the progress curve (AACP) and the final incidence of the disease were evaluated. The CD 202 variety was the most susceptible to disease and foliar silicon application did not positively influence the reduction of white mold severity. However, the AACP of the incidence was reduced with addition of the nutrient. New studies should be developed to clarify the role of this nutrient in soybean plants against necrotrophic pathogens.

Keywords: *Sclerotinia sclerotiorum*, *Glycine max*, plant defense.

3.1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) assumiu importância econômica no Brasil a partir da década de 60, quando se tornou uma das mais importantes commodities produzidas e comercializadas pelo país, contribuindo com grande parte do PIB a cada ano. Entretanto, com altos custos de produção ao produtor e gastos com insumos, desde a constatação da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), os fungicidas estão dentre um dos mais altos investimentos com finalidade de controle dessa doença na cultura. Nos últimos anos, com o aumento da severidade de algumas doenças, tanto por fungos de solo como da parte aérea, o manejo de doenças na cultura da soja foi se alterando (ITO, 2013).

As doenças estão entre os fatores que mais limitam a obtenção de alto rendimento na soja. Cerca de 40 doenças foram identificadas no Brasil causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus (EMBRAPA, 2014).

Entre as doenças causadas por fungos, o mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) teve sua primeira ocorrência registrada na cultura da batata (*Solanum tuberosum*), em 1921 no estado de São Paulo. Atualmente, ocorre em praticamente todas as regiões do Brasil onde se cultiva soja (JULIATTI et al., 2015). Em uma análise realizada por Forcelini (2018), na safra 2017/18, o mofo branco foi relatado como uma das doenças mais severas na região do Rio Grande do Sul.

Na cultura da soja, o mofo branco é uma das doenças mais antigas e, em anos que ocorrem chuvas superiores à média, pode causar danos severos e grandes perdas em algumas regiões do Cerrado (EMBRAPA, 2014). O agente etiológico é o fungo necrotrófico da espécie *Sclerotinia sclerotiorum* capaz de infectar mais de 500 espécies hospedeiras, em qualquer parte da planta e pertence ao filo Ascomycota, classe Sclerotiniaceae (CUNHA, 2010; ITO, 2013; JULIATTI et al., 2015).

O inóculo no solo e os danos na produção de grãos são mais elevados em lavouras onde, por diversos anos e na mesma área, são cultivadas espécies vegetais de folhas largas. Essa espécie de fungo produz estruturas de frutificação chamadas apotécios e o sintoma mais característico é o aparecimento do micélio algodado, inicialmente branco, na planta infectada. Outra característica relevante é a produção das estruturas de sobrevivência a partir do micélio, os escleródios (BRUSTOLIN, 2012).

Tal estrutura é considerada, muitas vezes, o inóculo inicial da doença e pode sobreviver viável no solo por anos (JULIATTI et al., 2015) e ser disseminada quando misturada às sementes.

Das recomendações para o manejo integrado do mofo branco, pode-se destacar práticas de controle cultural, biológico e químico (DANIELSON et al., 2004). A rotação de culturas é o método mais empregado no controle cultural de diversas doenças, entretanto, *S. sclerotiorum* é capaz de infectar centenas de espécies hospedeiras (HENNING et al., 2010). Desse modo, deve-se ter cuidado ao escolher as culturas que serão utilizadas nesse manejo. Também pode-se reduzir o risco de transmissão do fungo por meio de escleródios misturados às sementes, com o beneficiamento da semente, através do separador espiral e logo em seguida a mesa de gravidade (ALMEIDA et al., 2005).

O controle através de resistência genética das variedades de soja não é viável para controle do mofo branco, por causa da característica poligênica de resistência da doença. Desta forma, as variedades de soja são consideradas apenas tolerantes ao mofo branco (PEREIRA, 2016). Portanto, utilizar um conjunto diversas medidas de controle na lavoura é importante, como aumentar o espaçamento entre linhas, reduzindo o risco de acamamento (ALMEIDA et al., 2005).

Diante das características da doença que foram expostas, utilizar métodos que interfiram na infecção de *S. sclerotiorum* pode ser uma alternativa que auxilie no seu controle. Sendo assim, o uso de nutrientes benéficos às plantas, como o silício é uma possibilidade (BROADLEY et al., 2012), já que este elemento é relatado na literatura por reduzir a severidade de algumas doenças (DOMICIANO et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012). Algumas espécies, como a soja, são consideradas acumuladoras intermediárias deste elemento, correspondendo de 10 a 50 g.kg⁻¹ de Si da concentração da matéria seca (MENECALE et al., 2015).

Trabalhos demonstram que o silício age no mecanismo de defesa das plantas, tanto em respostas bioquímicas como citológicas, reduzindo a severidade de doenças causadas por fungos necrotróficos (DORNELES et al., 2017). Outra resposta citológica ocasionada pelo silício foi evidenciada por Sousa et al. (2013), onde o nutriente reduziu os sintomas causados pelo fungo *Pyricularia oryzae* em folhas de trigo tratadas com o Si de três formas: restringiu a invasão do fungo à primeira célula

epidérmica; a frequência de hifas de infecção no interior das células epidérmicas e a intensidade de escurecimento da cor marrom (sintomas da doença) na face adaxial da folha foram menores.

Rodrigues e Datnoff (2005) afirmaram que além de melhorar a adaptação das plantas ao solo e aumentar a produção, o efeito mais significativo do silício às plantas é a restrição ao parasitismo. Além disso, considerando que o Si pode controlar diversas doenças no arroz (*Oryza sativa*) ao mesmo nível que um fungicida, é possível que o nutriente possa ajudar a reduzir o número de aplicações de fungicidas ou a dose de ingredientes ativos utilizados.

Moraes et al. (2006) constataram que a severidade da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) em feijão (*Phaseolus vulgaris*) foi reduzida na presença do nutriente, mesmo sem observarem incremento de barreira física e acúmulo do silício nas células infectadas.

Júnior et al. (2009) estudaram o efeito da aplicação de cloreto de cálcio e silicato de cálcio na redução da severidade do mofo branco (*S. sclerotiorum*) no feijoeiro, em campo naturalmente infestado com o fungo. Estes autores constataram que tanto o cloreto de cálcio, como o silicato de cálcio reduziram a incidência e a severidade da doença.

Neste sentido, este trabalho objetivou analisar como a adição de silício interfere na infecção e severidade do mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em diferentes variedades de soja, seguindo a hipótese que o silício tem efeito positivo sobre o controle da doença.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação na Unidade II da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizada no município de Dourados – MS, durante os meses de agosto a outubro de 2018. Foram semeadas variedades de soja em vasos contendo da mistura de 3 kg de solo, areia e substrato comercial Tropstrato HT[®] (1:1:1 v/v).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (4x2), onde foram avaliadas quatro variedades de soja: TMG 7061 IPRO, TMG 7062 IPRO, CD 202 e MSOY 6410 em duas situações (com e sem adição de silício), com 4 repetições. A aplicação do filossilicato (60% SiO₂) foi no estágio de desenvolvimento V2 da planta (YORINORI, 1996), aos 37 dias após a semeadura (DAS), via solução foliar na dose de 300 g ha⁻¹ recomendada pelo produto.

Para realização da inoculação do fungo (*S. sclerotiorum*), os vasos foram transferidos para uma sala no Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia da UFGD, cujo ambiente foi climatizado conforme as condições ideais de desenvolvimento da doença (alta umidade relativa do ar e temperatura de 23±2°C) e regadas diariamente, onde as plantas permaneceram até o fim do experimento.

Escleródios foram previamente desinfestados em álcool 50% e hipoclorito de sódio a 0,5% diluído em água destilada estéril, nos tempos de 30 e 60 segundos, respectivamente. Posteriormente, estes foram enxaguados em água destilada estéril e transferidos para placas de Petri contendo meio BDA (batata, dextrose e ágar). As placas de petri foram incubadas a 22 ± 3°C e fotoperíodo de 12 horas para germinação miceliogênica (JULIATTI et al., 2013a). Ao terceiro dia de crescimento, discos de micélio foram extraídos das placas e foram fixados com fita PVC à axila do terceiro trifólio (GARCIA et al., 2015) de cada planta, no estágio V4 (YORINORI, 1996), aos 44 DAS (Figura 1).

A incidência do mofo branco nas plantas foi avaliada através da contagem do número de plantas por vaso que apresentavam sintomas da doença (manchas

aquosas que evoluem para coloração castanho-claro e logo desenvolvem abundante formação de micélio branco e denso).



FIGURA 1. Disco de micélio fixado à axila do terceiro trifólio da soja com auxílio de fita PVC transparente.

A avaliação da severidade da doença foi determinada pela medição do comprimento da lesão na haste com auxílio de régua (cm) e pela porcentagem do tecido vegetal infectado com base na escala diagramática (Figura 2) (JULIATTI et al., 2013b), a qual teve início a partir da primeiro sintoma que apareceu na planta após a inoculação (4 DAI).

A incidência final e a severidade expressa em tecido vegetal lesionado (%) foram transformados em arco seno da raiz de x sobre 100 ($\sqrt{x/100}$) e depois submetidos à análise estatística.

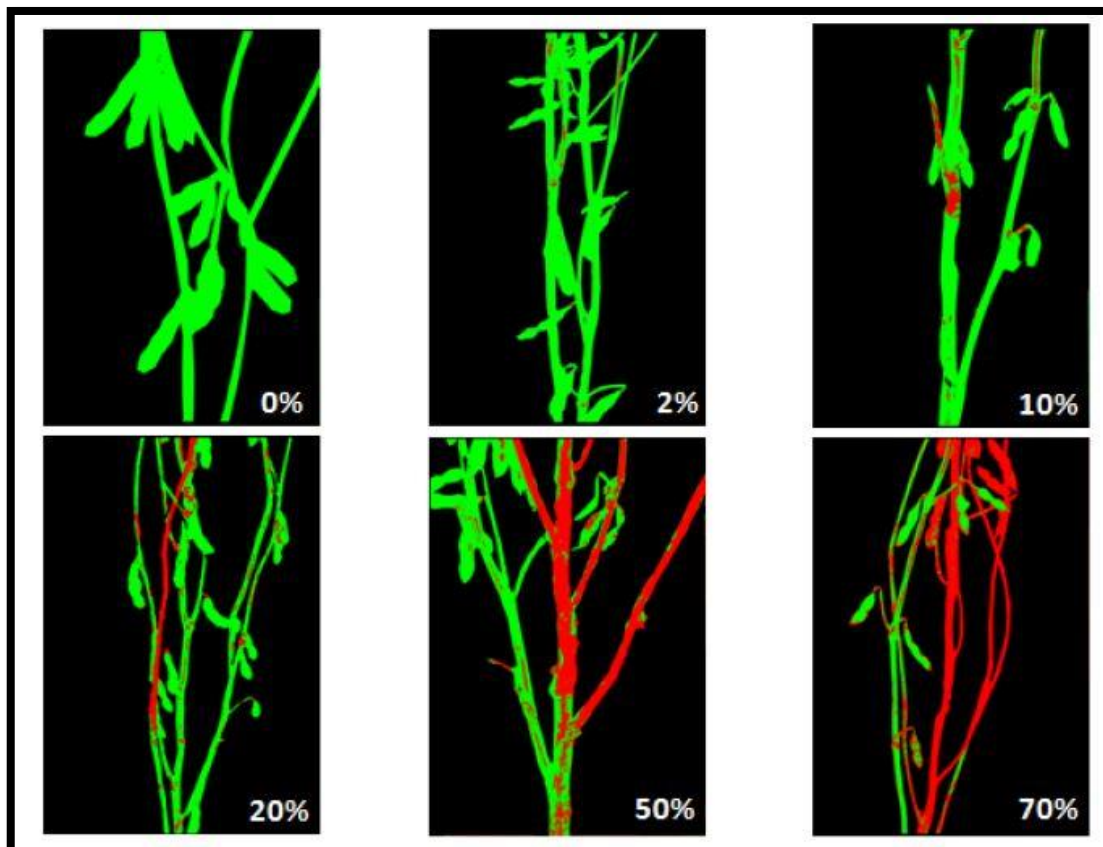


FIGURA 2. Escala diagramática proposta por Juliatti et al. (2013b) para avaliações de severidade de mofo branco ou podridão branca da haste da soja.

A partir da incidência, do comprimento da lesão (cm) e da porcentagem do tecido da planta lesionado, foi realizado o cálculo da área abaixo da curva de progresso (AACPD) para cada uma dessas variáveis, por meio da equação apresentada por Campbell e Madden (1990).

$$AACPD = \sum_{i=1}^{N-1} [(Y_i + Y_{i+1})/2] \times (T_{i+1} - T_i)$$

Onde: **Y_i**: severidade da doença na época de avaliação *i*;

Y_{i+1}: severidade da doença na época de avaliação *i+1*;

T_i: época de avaliação *i*;

T_{i+1}: época de avaliação *i+1*;

N = número de avaliações.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 3 representa todas as ações realizadas no ensaio conforme o tempo.

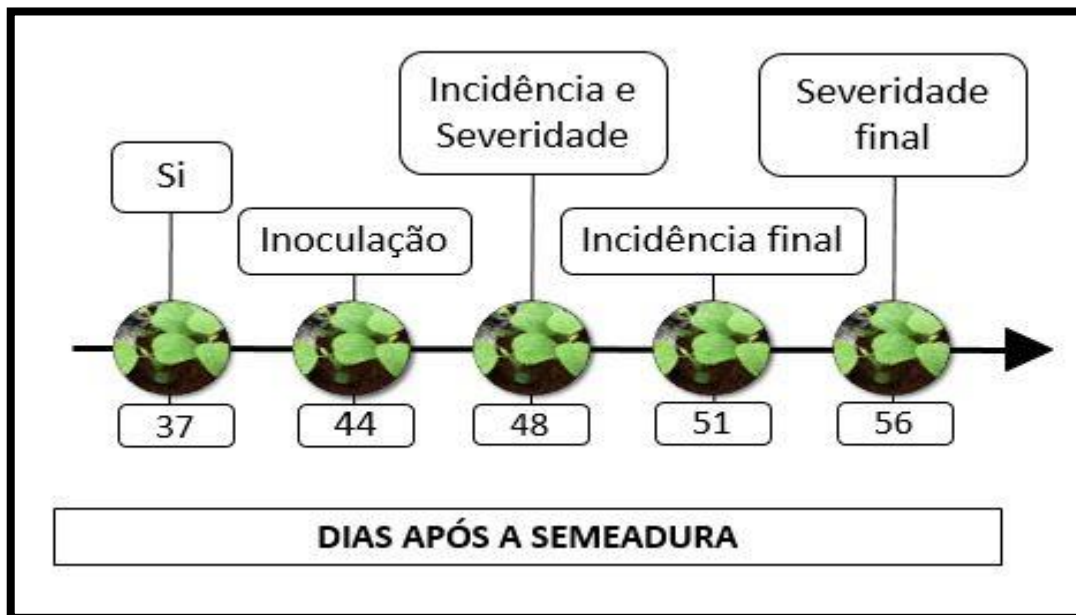


FIGURA 3. Distribuição temporal de atividades e avaliações realizadas no experimento.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se a manifestação de sintomas no quarto dia após a inoculação (DAI) e aos 7 DAI apresentou-se o valor máximo de incidência final (Quadro 1).

Não foi constatada interação significativa entre as variedades e com ou sem adição do silício em todas as variáveis avaliadas. Desta forma, os fatores foram analisados separadamente (Anexo F).

A variedade MSOY 6410 apresentou maior incidência da doença que as variedades TMG 7061 IPRO e TMG 7062 IPRO, porém não diferiu significativamente da CD 202 (Quadro 1). Além disso, não houve efeito da aplicação do silício foliar (Quadro 2).

QUADRO 1. Incidência final de *S. sclerotiorum* em diferentes variedades de soja cultivadas em casa-de-vegetação.

VARIEDADES	INCIDÊNCIA FINAL
TMG 7061 IPRO	41,54 B
TMG 7062 IPRO	41,54 B
CD 202	49,98 AB
MSOY 6410	66,66 A
CV	16,52%

CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey.

QUADRO 2. Incidência final de *S. sclerotiorum* em plantas de soja cultivadas com e sem adição de silício.

SILÍCIO	INCIDÊNCIA FINAL
-Si	52,82 A
+Si	47,16 A
CV	16,52%

(-) Si: sem silício; (+) Si: com silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey.

Na AACP foi detectada menor incidência de plantas com sintomas quando adicionado o silício que pode ter sido resultado de uma maior dificuldade na infecção dessas plantas pelo fungo (Quadro 3). Esses resultados demonstram que a doença se desenvolveu em um maior número de plantas, ao longo das avaliações, na condição sem a adição do silício.

Júnior et al. (2009) constataram que a aplicação foliar de silicato de cálcio reduziu significativamente a incidência e severidade do mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em plantas de feijão, em condições de campo sob ocorrência natural da doença. O modo de inoculação natural da doença (ascósporos), comparado ao desenvolvido neste trabalho (discos de micélio), pode também ter influenciado nos diferentes resultados obtidos.

QUADRO 3. Área abaixo da curva de progresso (AACP) da incidência de *S. sclerotiorum* em plantas de soja cultivadas com e sem adição de silício.

SILÍCIO	AACP INCIDÊNCIA
- Si	149,96 A
+ Si	120,78 B
CV	23,85%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais não diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Moraes et al. (2006) demonstraram que conforme aumentou-se o inóculo da antracnose (*C. lindemuthianum*) em plantas de feijão tratadas com diferentes fontes de silício, a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e a área abaixo da curva de progresso da severidade (ACCPS) aumentaram enquanto que a área foliar sadia diminuiu. Quando estes valores foram comparados com as plantas sem adição de silicato (testemunha), os valores de AACPI e ACCPS foram ainda maiores, indicando que houve influência positiva do silício sobre o progresso da doença. Em um outro estudo realizado por Juliatti et al. (2006), o silicato de cálcio granulado reduziu o índice de infecção de *Fusarium semitectum* nas sementes de soja da variedade FT- Cristalina RCH em relação uma fonte de silício em pó.

O comprimento da lesão e a porcentagem do tecido vegetal com sintomas foram superiores na variedade CD 202 (Quadro 4), demonstrando ter maior

suscetibilidade à doença que as demais variedades. Entretanto não foi observado efeito do silício para estas variáveis (Quadro 5)

QUADRO 4. Comprimento da lesão (cm) e porcentagem do tecido vegetal com sintomas de *S. sclerotiorum* em diferentes variedades de soja cultivadas em casa-de-vegetação.

VARIETADES	COMPRIMENTO DA LESÃO (cm)	% TECIDO VEGETAL COM SINTOMAS
TMG 7061 IPRO	1,57 B	1,00 B
TMG 7062 IPRO	5,25 B	2,97 B
MISOY 6410	2,45 B	2,47 B
CD 202	12,37 A	10,59 A
CV	78,02%	40,48%

CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste F.

QUADRO 5. Comprimento da lesão (cm) e porcentagem do tecido vegetal com sintomas de *S. sclerotiorum* em variedades de soja com e sem adição de silício cultivadas em casa-de-vegetação.

SILÍCIO	COMPRIMENTO DA LESÃO (cm) ¹	% TECIDO VEGETAL COM SINTOMAS
- Si	4,55 A	2,68 A
+ Si	6,27 A	4,63 A
CV	73,82%	76,75%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey.

Segundo a literatura, o silício auxilia as plantas no controle de doenças fúngicas desempenhando diferentes funções relacionadas à resistência contra os patógenos. Bélanger et al. (2003) demonstraram que plantas de trigo tratadas com silício tiveram um desenvolvimento limitado de oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*), sendo que cerca de 90% das plantas sem adição do nutriente, apresentaram epiderme com abundância de hifas e livre penetração do fungo (formando o haustório). Já nas folhas com silício, os haustórios tinham formato anormal com várias reações celulares epidérmicas que, aparentemente, retardavam ou impediam o desenvolvimento de

fungos e colonização. Em outro estudo, Araújo et al. (2012) verificaram que o uso de argila silicatada no controle de alternariose (*Alternaria porri*) em cebolinha (*Allium fistulosum*) reduziu em média 40% a AACP da severidade na planta inteira e nas folhas centrais em comparação à testemunha (plantas tratadas com água) no primeiro ciclo de rebrote da cultura.

A AACP do comprimento de lesão e da porcentagem de tecido com sintomas foram significativamente maiores para a variedade CD 202 (Quadro 6), mostrando que a doença teve maior progresso nessa variedade.

QUADRO 6. Área abaixo da curva de progresso (AACP) do comprimento de lesão e da porcentagem da planta infectada de *S. sclerotiorum* em diferentes variedades de soja cultivadas em casa-de-vegetação.

VARIEDADES	AACP	
	COMPRIMENTO DE LESÃO	% TECIDO VEGETAL COM SINTOMAS
TMG 7061 IPRO	10,84 B	6,25 B
TMG 7062 IPRO	37,52 AB	19,75 B
CD 202	68,53 A	58,37 A
MSOY 6410	15,84 B	14,50 B
CV	73,82%	76,75%

¹Análise considerando dados médios por planta; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Não houve efeito de aplicação foliar de silício na área abaixo da curva de progresso (AACP) do comprimento de lesão e da porcentagem do tecido da planta com sintomas (Quadro 7).

Domiciano et al. (2010) observaram que a área abaixo da curva de progresso da helmintosporiose do trigo (*Bipolaris sorokiniana*) foi reduzida em plantas de trigo supridas com silício. Além disso, severidade (número de lesões por cm² da área foliar) da doença também foi reduzida nessas condições.

O silício depois que é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico, segue o mesmo sentido do fluxo da água (transpiração), com isso em regiões onde a água é perdida em grande quantidade, o silício é acumulado em maior quantidade, como na epiderme foliar (FURLANI, 2004). Desta forma, pode-se considerar que, neste trabalho, o silício aplicado via foliar permaneceu, em sua maior parte, nas folhas,

ou seja, não desempenhou sua função no local de inoculação da doença (haste principal).

QUADRO 7. Área abaixo da curva de progresso (AACP) do comprimento de lesão e da porcentagem tecido da planta com sintomas de *S. sclerotiorum* em soja com e sem adição de silício cultivada em casa-de-vegetação.

SILÍCIO	AACP	
	COMPRIMENTO DE LESÃO	% TECIDO COM SINTOMAS
- Si	29,078 A	19,395 A
+Si	37,299 A	30,041 A
CV	73,82%	76,75%

(-) Si: sem adição de silício; (+) Si: com adição de silício; CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste F.

Para que se obtenham melhores resultados e que os mesmos corroborem com a literatura consultada, uma opção seria utilizar diferentes formas de aplicação do nutriente, pois os melhores resultados na redução da intensidade de doenças têm sido obtidos quando o silício está presente na forma solúvel no tecido da planta, que ocorre quando o elemento é absorvido pelo sistema radicular (DORNELES et al., 2017). Bélanger et al. (2003) utilizaram dióxido de silício (SiO_2) solúvel e escória de silicato de cálcio, constataram efeitos positivos do Si sobre a infecção de *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* em trigo.

Diante dos resultados apresentados no presente trabalho, para esclarecer melhor como o silício age contra doenças de patossistema necrotrófico em uma espécie não acumuladora do nutriente, como a soja, sugere-se que novos estudos devem ser desenvolvidos, alterando a fonte e a forma de aplicação do silício.

3.4. CONCLUSÃO

O fungo *Sclerotinia sclerotiorum* apresentou menor incidência em plantas com o silício. Contudo, não foi observado efeito sobre a severidade da doença.

A variedade CD 202 se mostrou mais suscetível à doença, quando comparada às variedades TMG 7061 IPRO e TMG 7062 IPRO.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. E. V.; HENNING, A. A. Doenças da soja. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; FILHO, B.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. (Ed. 4). Ceres, 2005. v. 2, p. 618-627.
- ARAÚJO, I. B.; PERUCH, L. A. M.; STADNIK, M. J. Efeito do extrato de alga e da argila silicatada na severidade da alternariose e na produtividade da cebolinha comum (*Allium fistulosum* L.). **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 5, p. 363–367, 2012.
- BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological Evidence of an Active Role of Silicon in Wheat Resistance to Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*). **Phytopathology**, v. 93, n. 4, p. 402–412, 2003.
- BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; MA, J. F.; RENGEL, Z.; ZHAO, F.; Beneficial Elements. In: MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. (Ed. 3). Elsevier, 2012. p. 257-261.
- BRUSTOLIN, R. **Produção de inóculo e sobrevivência de *Sclerotinia sclerotiorum***. 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de concentração em Fitopatologia) - Universidade Federal de Passo Fundo.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. John Wiley & Sons, 1990. 532 p.
- CUNHA, W. G. **Universidade de Brasília Instituto de Ciências Biológicas Departamento de Biologia Celular Resistência a *Sclerotinia sclerotiorum* em plantas de soja geneticamente modificadas para expressar o gene da oxalato descarboxilase de *Flammulina velutipes***. 2010. 96 f. Tese (Doutorado em Biologia molecular) Universidade de Brasília.
- DANIELSON, G. A.; NELSON, B. D.; HELMS, T. C. Effect of sclerotinia stem rot on yield of soybean inoculated at different growth stages. **Plant Disease**, v. 88, n. 3, p. 297–300, 2004.
- DOMICIANO, G. P.; RODRIGUES, F. A.; VALE, R. X. R.; XAVIER FILHA, M. S.; MOREIRA, W. R.; ANDRADE, C. C. L.; PEREIRA, S. C. Wheat Resistance to Spot Blotch Potentiated by Silicon. **Journal of Phytopathology**, v. 158, n. 5, p. 334–343, 2010.
- DORNELES, K. R.; DALLAGNOL, L. J.; PAZDIORA, P. C.; RODRIGUES, F. A.; DEUNER, S. Silicon potentiates biochemical defense responses of wheat against tan spot. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 97, p. 69–78, 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja: Região central do Brasil**. 2014. (Sistemas de Produção). 266 p.

FORCELINI, C. A. **Uma análise das doenças na safra 2017/18**. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/artigos/artigos-geral/214846-uma-analise-das-doencas-da-soja-na-safra-201718-por-carlos-alberto-forcelini.html#.XFBX5lxKjIV>>. Acesso em: 10/10/2018.

FURLANI, Â. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Guanabara Koogan, 2004, v. 39, p. 69.

GARCIA, R. Á.; MEYER, M. C.; ÁVILA, K. A. G. B.; CUNHA, M. G. Métodos de inoculação de *Sclerotinia sclerotiorum* para triagem de variedades de soja resistentes ao mofo branco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 726–729, 2015.

HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. **Manual de Identificação de Doenças de Soja**. Embrapa, 2010. (Documentos). 73 p.

ITO, M. F. Principais doenças da cultura da soja e manejo integrado. In: 1º ENCONTRO TÉCNICO SOBRE AS CULTURAS DA SOJA E DO MILHO NO NOROESTE PAULISTA, n. 3, 2013. **Nucleus**. p. 83–101

JULIATTI, F. C.; SAGATA, E.; JULIATTI, B. C. M. Ranqueamento de genótipos de soja com resistência parcial por diferentes métodos de inoculação de *Sclerotinia sclerotiorum* submetidos à análise de correlação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 681–689, 2013a.

JULIATTI, F. C.; CRATO, F. F.; JULIATTI, F. C.; COUTO, K. R.; JULIATTI, B. C. N. Diagramatic scale to evaluation of white mold on soybean. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 676–680, 2013b.

JULIATTI, F. C.; PEDROSA, M. G.; LANNA, R. M. Q.; BRITO, S. H.; MELO, B. Influência do silício na redução de podridão de sementes por *Fusarium semitectum* na cultura da soja. **Bioscience Journal, Uberlândia**, v. 20, n. 2, p. 57–63, 2006.

JULIATTI, F. C.; FIGUEIRÓ, A. A.; GARCIA, R. Á.; SANTOS, J. B.; MACHADO, J. C.; POZZA, E. A.; JUNIOR, M. L.; CIVARDI, E. A.; JÚNIOR, T. J. P.; VIEIRA, R. F.; LEHNER, M. S.; LIMA, R. C.; FILHO, D. S. J. **Sclerotinia sclerotiorum e mofo branco: estudos básicos e aplicados**, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/299484905_Sclerotinia_sclerotiorum_e_Mofo_branco_Estudos_basicos_e_aplicados>. Acesso em: 21/02/2019.

JÚNIOR, P. J. P.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; CARNEIRO, J. E. S. Foliar application of calcium chloride and calcium silicate decreases white mold intensity on dry beans. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 3, p. 171-174, 2009.

MENEGALE, M. L. C.; CAST5RO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. especial, p. 435-452, 2015.

MORAES, S. R. G.; POZZA, E. A.; ALVEZ, E.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; LIMA, P. H.; BOTELHO, A. O. Efeito de fontes de silício na incidência e na

severidade da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 69–75, 2006.

PEREIRA, F. A. C. **Potencial de cruzamentos de soja para resistência ao mofo branco, tolerância à ferrugem e produtividade de grãos**. 2016. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências - Área de concentração: Genética e melhoramento de plantas) - ESALQ.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon and rice disease management. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 457–469, 2005.

SOUSA, R. S.; RODRIGUES, F. A.; SCHURT, D. A.; SOUZA, N. F. A.; CRUZ, M. F. A. Cytological aspects of the infection process of *Pyricularia oryzae* on leaves of wheat plants supplied with silicon. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 6, p. 472–477, 2013.

YORINORI, J. T. **Cancro da haste da soja: Epidemiologia e Controle**. Embrapa, 1996. (Circular Técnica 14). 78 p.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi analisado o efeito do silício em dois patossistemas diferentes, biotrófico (*P. pachyrhizi*) e necrotrófico (*S. sclerotiorum*). Observou-se que o silício causa um atraso no período latente da ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) e que o fungo causador do mofo branco (*S. sclerotiorum*) apresentou menor incidência nas plantas tratadas com o silício.

Além disso, este elemento benéfico tem efeito positivo sobre as trocas gasosas através da manutenção do metabolismo fotossintético, em algumas variedades, como detectado para a variedade CD 202, neste trabalho.

ANEXOS

ANEXO A. Análise de variância de número de lesão, urédias abertas, fechadas e totais; porcentagem de urédias abertas e espessura da epiderme de variedades de soja submetidas à diferentes condições de silício.

Fontes de variação	GL ¹	INICIAL				Quadrado médio			Espessura da epiderme
		Lesão	UA ²	UF ³	UT ⁴	% UA ⁵			
						12 DAI	22 DAI	32 DAI	
Variedades	3	19,437*	120,928*	20,83*	139,839*	685,178*	269,151*	532,126*	9,520*
Silício	1	0,086 ^{NS}	0,801 ^{NS}	5,596 ^{NS}	0,180 ^{NS}	654,618*	1,305 ^{NS}	47,988*	6,289 ^{NS}
Variedades*Silício	3	2,138 ^{NS}	3,007 ^{NS}	0,904 ^{NS}	2,565 ^{NS}	78,309 ^{NS}	52,677 ^{NS}	205,055 ^{NS}	8,545*
Resíduo	24	2,128	5,576	1,966	7,190	72,275	34,055	85,502	2,680
CV		40,954%	44,051%	40,564%	14,298%	14,298%	8,814%	14,181%	9,178%

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ¹Grau de liberdade; ²Urédias abertas; ³Urédias fechadas; ⁴Urédias totais; ⁵Porcentagem de urédias abertas.

ANEXO B. Análise de variância da área abaixo da curva de progresso (AACP) de: lesões, urédias abertas (UA), urédias fechadas (UF) e urédias totais (UT) de variedades de soja submetidas à diferentes condições de silício.

Fontes de variação	GL ¹	Quadrado médio			
		AACP			
		Lesão	UA	UF	UT
Variedades	3	6711506,033*	86504754,025*	1436555,205*	127726115,521*
Silício	1	733566,442 ^{NS}	11013685,598 ^{NS}	163756,850 ^{NS}	14073053,001*
Variedades*Silício	3	291925,781 ^{NS}	2101168,295 ^{NS}	102952,298 ^{NS}	3316834,572 ^{NS}
Resíduo	24	204318,746	32112582,289	133548,628	2488473,093
CV		40,587%	46,926%	50,206%	33,461%

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ¹Grau de liberdade.

ANEXO C. Análise de variância da taxa fotossintética (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (Gs) e taxa de carbono interno (Ci) aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS) de variedades de soja submetidas à diferentes condições de silício.

48 DAS					
Fontes de variação	GL¹	Quadrado médio			
		A	E	Gs	Ci
Variedades	3	16,798 ^{NS}	0,479*	0,027*	2057,583 ^{NS}
Silício	1	4,380 ^{NS}	0,113 ^{NS}	0,005 ^{NS}	2080,125 ^{NS}
Variedades*Silício	3	5,051 ^{NS}	0,885*	0,010 ^{NS}	7058,208*
Resíduo	24	6,692	0,292	0,007	1672,020
CV		21,58%	16,90%	30,40%	13,81%

55 DAS					
Fontes de variação	GL¹	Quadrado médio			
		A	E	Gs	Ci
Variedades	3	22,155*	6,312*	0,006*	2175,875*
Silício	1	3,321 ^{NS}	0,411*	0,000 ^{NS}	630,125 ^{NS}
Variedades*Silício	3	9,679 ^{NS}	0,093 ^{NS}	0,001 ^{NS}	126,208 ^{NS}
Resíduo	24	1,751	0,071	0,001	437,062
CV		17,37%	8,18%	13,86%	6,35%

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ¹Grau de liberdade.

ANEXO D. Análise de variância de eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) e eficiência instantânea da carboxilação (A/Ci) aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS) de variedades de soja submetidas à diferentes condições de silício.

48 DAS				
Fontes de variação	GL ¹	Quadrado médio		
		A/E	A/Gs	A/Ci
Variedade	3	0,700 ^{NS}	533,834 ^{NS}	0,0001 ^{NS}
Silício	1	0,025 ^{NS}	369,719 ^{NS}	0,00001 ^{NS}
Variedade*Silício	3	3,125*	955,253*	0,0003 ^{NS}
Resíduo	24	0,832	285,599	0,0001
CV		23,69%	34,71%	29,00%

55 DAS				
Fontes de variação	GL ¹	Quadrado médio		
		A/E	A/Gs	A/Ci
Variedade	3	6,874*	688,429*	0,0003*
Silício	1	0,063 ^{NS}	153,255 ^{NS}	0,00007 ^{NS}
Variedade*Silício	3	0,581*	145,406 ^{NS}	0,0001*
Resíduo	24	0,173	53,937	0,00002
CV		16,71%	22,66%	21,61%

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ¹Grau de liberdade.

ANEXO E. Análise de variância da temperatura foliar (T) e índice de clorofila (SPAD) aos 48 e 55 dias após a semeadura (DAS) de variedades de soja submetidas à diferentes condições de silício.

48 DAS			
Fontes de variação	GL¹	Quadrado médio	
		T	ÍNDICE DE CLOROFILA
Variedade	3	1,716*	182,016*
Silício	1	1,088*	11,046 ^{NS}
Variedade*Silício	3	0,110*	16,882 ^{NS}
Resíduo	24	0,011	10,083
CV		0,03%	8,10%
55 DAS			
Fontes de variação	GL¹	Quadrado médio	
		T	ÍNDICE DE CLOROFILA
Variedade	3	56,820*	288,040*
Silício	1	6,570*	0,072 ^{NS}
Variedade*Silício	3	0,313*	79,834 ^{NS}
Resíduo	24	0,081	60,828
CV		0,91%	18,58%

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ¹Grau de liberdade.

ANEXO F. Quadro de análise de variância do comprimento de lesão final , da porcentagem de tecido da planta com sintomas (% tecido com sintomas), incidência final e área abaixo da curva de progresso (AACP): da lesão final, da % tecido com sintomas e da incidência, de variedades de soja submetidas à diferentes condições de silício.

Quadrado médio							
Fontes de variação	GL¹	Lesão final	% Tecido infectado	Incidência final	AACP		
					Lesão	% Tecido com sintomas	Incidência
Variedade	3	144,01*	193,091*	284,267*	4135,942*	3205,898*	12537,785*
Silício	1	17,853 ^{NS}	54,331 ^{NS}	63,252 ^{NS}	405,492 ^{NS}	680,002 ^{NS}	5110,592*
Variedade*Silício	3	19,466 ^{NS}	34,587 ^{NS}	94,716 ^{NS}	432,836 ^{NS}	565,252 ^{NS}	2259,969 ^{NS}
Resíduo	16	17,836	19,577	55,307	600,304	359,966	1042,427
CV		78,02%	40,48%	16,52%	73,82%	76,75%	23,85%

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ¹Grau de liberdade.