UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

CAMPUS JATAÍ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

Adriana Verginassi

Engenheira agrônoma

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Janeiro de 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

CAMPUS JATAÍ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

Adriana Verginassi

Orientador: Prof. Dr. Manuel G. C. Churata-Masca

Co-Orientadores: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

Prof[a]. Dra. Luciana Celeste Carneiro

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BSCAJ/UFG)

Verginassi, Adriana
V493s Silício no controle da ferrugem asiática da soja. / Adriana Verginassi. – Jataí : [S.n], 2008.
42f. : tabs.

Orientador: Prof. Dr. Manuel G. C. Churata–Masca.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, 2008.

1. Produção Vegetal. 2. Ferrugem asiática. 3. Soja. 4. Silício. 5. *Glycine max*. 6. *Phakopsora pachyrhizi.* 7. Manejo integrado. 8. Controle de doenças. I. CHURATA-MASCA, Manuel G. C.. II. Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí. III. Título.

CDU : 632.937:633.34

Bibliotecário responsável: ***Enderson Medeiros CRB 2.276***

Adriana Verginassi

TÍTULO: **"SILÍCIO NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA"**.

Tese DEFENDIDA e APROVADA em 29 de janeiro de 2008, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Manuel Gabino C. Churata Masca
Orientador – CAJ/UFG

Prof. Dr. Fabrício de Ávila Rodrigues
UFV

Profª Dra. Luciana Celeste Carneiro
CAJ/UFG

Jataí - Goiás
Brasil

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ADRIANA VERGINASSI - filha de Adelico José Verginassi e Edi Terezinha Verginassi nasceu em Abelardo Luz (SC), em 28 de janeiro de 1979. Concluiu parte do 1º grau no Colégio Bom Conselho (até a quinta série) e parte no Cefet (até a oitava série), na cidade de Jataí (GO), em 1993 e o 2º grau no Colégio Invest, também na cidade de Jataí (GO), em 1996. Em março de 1997, ingressou na Universidade Federal – Campus Jataí, graduando-se em Agronomia em 2002. Ingressou no Mestrado em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, em março de 2006, na Universidade Federal de Goiás - Campus Jataí, obtendo o título de “Mestre” em janeiro de 2008.

Em março de 2008 ingressou no Doutorado em Agronomia, área de concentração Solo e Água, na Universidade Federal de Goiás – Campus Samambaia, Goiânia, o qual está cursando atualmente.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me iluminar e me dar força em todos os momentos.

Aos meus pais Adelico e Edi, pelo incentivo nos estudos e ao meu irmão por sua amizade e auxílio no experimento.

A Universidade Federal de Goiás, pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Prof. Dr. Manuel Gabino Crispin Churata-Masca, pela orientação e amizade.

Aos meus co-orientadores Prof. Dr(es) Hamilton Seron Pereira e Luciana Celeste Carneiro por todas as sugestões e auxilio na condução do experimento.

A todos os alunos que auxiliaram na condução do experimento, Tiago, Reiner, Dorotéia, Janaína, Clévio, Jéssica.

Aos técnicos do laboratório de Solos, Cleumar e Marcos e ao técnico do laboratório de Fitopatologia Gerson Santana de Ferreira.

Aos funcionários do campo experimental, que contribuíram nas etapas de plantio e manutenção do experimento.

À Capes pela bolsa de estudos concedida.

Aos colegas de pós-graduação, pela amizade e companheirismo.

Aos professores Dr(es) Vilmar Ragagnin (UFG-Jatai) e Fabrício Ávila Rodrigues (UFV) por aceitarem fazer parte da banca.

A todos meus amigos, familiares e professores que me incentivaram fazer o mestrado.

SUMÁRIO

RESUMO..... i
ABSTRACT..... ii
1 INTRODUÇÃO..... 01
2 REVISÃO DE LITERATURA..... 03
2.1 A Cultura da Soja..... 03
2.2 Ferrugem asiática da soja..... 04
2.2.1 Etiologia e dispersão..... 04
2.2.2 Sintomatologia..... 06
2.2.3 Epidemiologia..... 06
2.2.4 Controle..... 07
2.3 Silício na Agricultura.....08
2.3.1 Silício no solo e fontes de silício para agricultura..... 08
2.3.2 Silício na planta..... 10
2.3.3 Benefícios do silício para as plantas..... 13
3 MATERIAL E MÉTODOS..... 16
3.1 Local e época de plantio..... 16
3.2 Tratamentos..... 18
3.3 Delineamento experimental..... 19
3.4 Variáveis avaliadas..... 19
3.4.1 Severidade..... 19
3.4.2 Desfolha..... 20
3.4.3 Componentes de produção e produtividade..... 20
3.5 Análise Foliar..... 21
3.5.1 Silício na planta..... 21
3.5.2 Macronutrientes e Micronutrientes..... 21
3.6 Análise de Solo..... 22
3.6.1 Silício no solo..... 22
3.6.2 Macronutrientes e Micronutrientes..... 23
3.7 Análise estatística..... 23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 23
4.1 Severidade da ferrugem asiática da soja..... 23
4.2 Desfolha..... 26
4.3 Componentes de produção..... 27
4.4 Teores de macronutrientes, micronutrientes e Si nas folhas de soja..... 28
4.6 Teores de macronutrientes e Si no solo..... 30
6 CONCLUSÕES..... 32
7 REFERÊNCIAS..... 33

RESUMO

A ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi,* é atualmente a principal doença da cultura da soja. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em campo, o efeito de aplicações foliares de silicato de potássio e outros nutrientes e aplicações via solo de silicato de cálcio + magnésio no controle dessa doença e, a concentração de silício na cultivar "Valiosa". O experimento foi conduzido no município de Jataí, GO no ano agrícola de 2006-2007. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com nove tratamentos e quatro repetições e, cada parcela experimental foi composta por dez linhas de dez metros de comprimento. A severidade da doença foi avaliada em intervalos semanais, a partir do surgimento das primeiras pústulas até a desfolha completa. Foi avaliada a produtividade de cada parcela e o peso de 100 grãos. Também foi quantificado o teor de silício foliar e no solo. O acúmulo de Si nas folhas foi significativamente maior nos tratamentos onde foi aplicado o silicato de cálcio+magnésio, mas não foi diferente dos tratamentos com aplicação foliar de silicato de potássio. A aplicação de Si antes do aparecimento da doença reduziu em 22,5% a severidade da ferrugem asiática da soja e aumentou a produtividade em 3 sacas de soja por hectare. Os teores de zinco na parte aérea foram influenciados pela adubação foliar.

Palavras-Chave: *Glycine max, Phakopsora pachyrhizi,* manejo integrado, doenças, nutrição

ABSTRACT

Asian soybean rust, caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi*, is the most important disease of soybean crop actually. This work aimed evaluate, under field conditions, the effect of foliar application of potassium silicate and others nutrients and soil application of calcium + magnesium on the control of this disease and his accumulation in plants of soybean cultivar "Valiosa". The research was conducted at Jataí, GO, during the growing season of 2006-2007. The experiment was arranged in a randomized complete block design, with nine treatments and each experimental unit was made by ten soybean lines, 6 m long. The disease severity was estimate on weekly intervals from the first pustules appearance to the total defoliation. It was evaluate the productivity and the weight of hundred grains. Also was quantified the content of silicon in the leaves and in the soil. The silicon accumulation was significantly greater in the treatments where was applied the silicate of calcium + magnesium, but it wasn't different of the treatments with potassium silicate. The Si spray before the appearance of the disease reduced the disease severity in 22,5%. The contents of Zn on air part were influenced by the foliar adubation.

Keywords: *Glycine max, phakopsora pachyrhizi,* integrated management, disease, nutrition

1 INTRODUÇÃO

A soja é considerada a mais importante fonte de proteína e óleo vegetal no mundo, em função da qualidade e do baixo custo de produção. É o principal agronegócio brasileiro importante na geração de divisas para o país. Entretanto, existem vários fatores que interferem na sua produção, ocasionando grandes prejuízos. Além do clima, outra importante causa de redução da produção são as doenças, dentre as quais, a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi.*

No sudoeste de Goiás assim como em todo o Brasil, a ferrugem asiática da soja tem causado redução de produtividade e encarecimento do custo de produção. Em apenas três anos (2001 a 2003), disseminou-se por todas as regiões produtoras de soja do País e, em quatro anos, atingiu todo o Continente Americano, sendo detectada nos Estados Unidos em novembro de 2004. O custo para o controle da doença no Brasil atingiu aproximadamente US$7,7 bilhões (Conab, 2007). Na atual falta de cultivares resistentes, o controle químico é a forma mais eficaz e imediata. Entretanto, em determinadas situações, como condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento do patógeno e alta densidade de plantas, há redução da eficiência da cobertura foliar pelos fungicidas e o controle químico torna-se menos efetivo. A cada ano a severidade da doença vem aumentando nas regiões de clima mais favorável. Do mesmo modo, também tem aumentado o custo do controle, apesar da redução dos preços dos fungicidas, pois o número de aplicações tem aumentado. Plantas severamente infectadas apresentam desfolha precoce, comprometendo à formação e o enchimento de vagens e peso final dos grãos. A severidade das doenças pode agravar-se em decorrência de adubação insuficiente e desequilibrada.

A adubação foliar na cultura da soja vem sendo muito utilizada como uma opção viável de fornecimento suplementar de nutrientes, principalmente quando constatados níveis baixos na planta em caso de deficiências. Culturas bem nutridas, em equilíbrio, apresentam melhor desempenho, segundo a teoria da trofobiose. Estudos recentes mostram que o silício (Si) pode estimular o crescimento e o aumento da produtividade das culturas, por meio de várias

ações indiretas, propiciando proteção contra fatores abióticos, como estresses hídricos, entre outros, e bióticos, como a incidência de insetos-praga e também as doenças. Plantas tratadas com silício provavelmente desencadeiam mecanismos naturais de defesa, como por exemplo, a produção de fitoalexinas e acúmulo de lignina, que irão interferir no progresso das doenças e pragas refletindo também na produtividade.

As aplicações de silício via foliar ou via solo têm se mostrado eficiente, especialmente em poaceas, e promissora em algumas dicotiledôneas como feijão, tomate, pepino e mesmo para algumas doenças da soja. Trabalhos nessa área têm aumentado e vem propiciando o uso do silício nas culturas agrícolas reduzindo pragas, controlando doenças e/ou com reflexos na produtividade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em campo, o efeito de aplicações de silício via solo e foliar e outros nutrientes, no teor de silício nas folhas de soja, no solo e seus reflexos, na ferrugem asiática.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da soja

A soja, *Glycine max* (L.) Merrill, é uma das fabaceaes mais importantes do mundo, tendo em vista o seu alto conteúdo em proteínas, que lhe proporciona múltiplas utilizações, com a formação de um complexo industrial destinado ao seu processamento (Arantes e Souza, 1993). Levando em consideração a grande participação da soja e seus derivados na receita das exportações, parece óbvia a contribuição econômica desse setor produtivo.

Pelo teor de lipídios, é utilizada também na alimentação humana (óleo de soja) e mais recentemente na produção de biodiesel como combustível tem apresentado um potencial promissor no mundo inteiro, como fonte alternativa de energia renovável em substituição ao óleo diesel e outros derivados do petróleo, além da enorme contribuição ao meio ambiente, reduzindo os níveis de poluição ambiental (Ramos, 2000). Neste sentido o governo Federal isenta impostos das indústrias produtoras de biodiesel que adquirem os produtos de agricultores familiares. Outro subproduto do óleo de soja, a lecitina, que é um produto utilizado como ingrediente de produtos industrializados na alimentação humana, contribui para o consumo de soja no mundo.

O Brasil, segundo maior produtor de soja do mundo, produziu na safra 2006/2007, 58,39 milhões de toneladas de grãos. A estimativa da próxima safra é uma produção entre 59,4 e 61,3 milhões de toneladas, representando um ganho entre 1,6% e 4,9%, quando comparada à safra anterior e, estima-se que serão cultivados entre 21,2 e 21,9 milhões de hectares, indicando um crescimento entre 2,4% e 5,7%, quando comparada à safra passada (Conab, 2007).

Em Jataí - GO e municípios vizinhos é a principal cultura de verão, que em sucessão com o milho safrinha, torna-se um agronegócio importante na região. A área plantada em Jataí, na safra 2006/2007 foi de 202.000 ha, com uma produtividade média de 50 sc $ha^{-1,}$

conforme a (Comissão de Levantamento de dados Agrícolas de Jataí - GO, 2006). Entre os principais fatores que limitam a obtenção de altos rendimentos na cultura, estão as doenças, dentre as quais, a ferrugem asiática.

2.2 Ferrugem asiática da soja

2.2.1 Etiologia e dispersão

A ferrugem da soja tem como agente etiológico, duas espécies do gênero *Phakopsora. P. meibomiae*, agente causal da “ferrugem americana” e *Phakopsora pachyrhizi*, agente causal da “ferrugem asiática”.

P. pachyrhizi foi relatada pela primeira vez em 1903, no Japão. Nas primeiras décadas daquele século a ferrugem da soja foi descrita por todo hemisfério oriental, mas com registros de epidemias severas apenas nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia e Austrália (Bromfield, 1984). Entretanto somente na década de 90 a doença foi registrada no continente africano, atingindo inicialmente os países próximos à fronteira com a Ásia e avançando aos países meridionais do continente, até atingir a África do Sul em 2001. Os maiores danos foram registrados em Uganda, Kenya, Ruanda, Zâmbia, Zimbábue, Moçambique e África do Sul (Yorinori, 2004). Nas primeiras décadas daquele século a ferrugem da soja foi descrita por todo hemisfério oriental, mas com registros de epidemias severas apenas nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia e Austrália, (Bromfield, 1984). Na safra 2001/2002 foi encontrada na América do Sul, Paraguai e em lavouras comerciais dos Estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul e Argentina (Yorinori, 2004). Na safra seguinte, focos da doença foram observados em 250 municípios espalhados por todo Brasil, abrangendo Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Bahia, Maranhão e Rondônia (Yorinori *et al.*, 2002). Na safra 2003/2004 o estado do Pará apresentou o primeiro foco da doença e atualmente Roraima é o único Estado brasileiro

onde a soja é cultivada comercialmente e a doença não foi relatada. Nos demais países foi detectado na Bolívia em 2003, na Colômbia, Uruguai e Estados Unidos em 2004 (Embrapa soja, 2007).

Na década de 70 foram registrados dois isolados da ferrugem da soja no Continente Americano, um em Porto Rico, em 1976, Bromfield (1984) e outro no Brasil, em 1979 (Deslandes, 1979). A constatação da ferrugem no novo mundo significou uma ameaça à sojicultura nacional e norte americana, pois o patógeno vinha causando danos severos à cultura da soja nos países asiáticos. Contudo a doença não se desenvolveu da forma agressiva como era temido e foram relatados apenas danos esporádicos à cultura nos municípios mineiros de São Gotardo e Presidente Olegário e no Distrito Federal, na safra 1990/1991 (Carvalho Júnior & Figueiredo, 2000). Carvalho Júnior & Figueiredo (2000), com base no trabalho de Ono, *et al.* (1992) e no histórico de danos esporádicos da doença no Brasil, propuseram ser *P. meibomiae* e não *P. pachyrhizi* o agente etiológico do relato de Deslandes em 1979. Entretanto, por meio da aplicação do teste de PCR em material do herbário urediniológico “Victoria Rosseti” do Instituto Biológico, detectou infecções mistas das duas espécies de *Phakopsora* em amostras de ferrugem da soja coletadas em Minas Gerais em 1979 e em 1983 (Akamatsu *et al.*, 2004).

P. pachyrhizi é um fungo basidiomiceto da Ordem *Uredinales*, membro da família *Melampsoraceae*. A espécie é descrita pela sua fase uredinial e telial, Ono *et al.* (1992) e é incerta a presença das cinco fases que podem ocorrer nos teliomicetos da Ordem *Uredinales*. Na fase uredinial são produzidos os urediniósporos, responsáveis pela fase epidêmica da doença.

Em plantas de soja são observados os estágios uredinial e telial. A fase uredinial também ocorre numa vasta gama de espécies de leguminosas, pois tanto *P. pachyrhizi* quanto *P. meibomiae* tem a capacidade de infectar vários hospedeiros. Em condições de campo *P. meibomiae* infecta 42 espécies e *P. pachyrhizi* 31 espécies (Ono *et al.*, 1992).

2.2.2 Sintomatologia

Os sintomas causados por *P. pachyrhizi* iniciam-se nas folhas inferiores da planta e são caracterizados por minúsculos pontos (1-2 mm de diâmetro), mais escuros do que o tecido sadio da folha, com coloração esverdeada a cinza-esverdeada. Correspondentemente aos pontos iniciais, observa-se, na parte abaxial da folha, a formação das urédias, que se apresentam como pequenas protuberâncias na lesão. As urédias são predominantes na superfície abaxial do folíolo, mas podem ocorrer, embora raramente, na superfície adaxial. As urédias adquirem coloração variando de castanho-clara a castanho-escura e abrem-se em um minúsculo poro, expelindo os urediniósporos. Os urediniósporos, inicialmente de coloração hialina, tornam-se bege, acumulam-se ao redor dos poros e são carregados pelo vento. À medida que prossegue a esporulação, o tecido da folha ao redor das urédias adquire coloração castanho-clara a castanho-avermelhada, formando lesões visíveis em ambas as faces da folha (Yorinori *et al.*, 2002). Os níveis epidêmicos da ferrugem asiática variam de 10 a 90% da produção (Yorinori *et al.*, 2002). Segundo os referidos autores os sintomas podem ocorrer em qualquer estádio de desenvolvimento da soja, tanto nos cotilédones, quanto nas folhas e hastes, sendo mais comumente observados nas folhas.

2.2.3 Epidemiologia

A ocorrência da ferrugem da soja está diretamente associada ao clima. Temperaturas médias inferiores a 28ºC e molhamento foliar de 6 horas ou mais favorecem a infecção da planta. Regiões com altitude superior a 700 m são mais favoráveis à ocorrência da doença devido às temperaturas noturnas amenas associadas ao maior número de horas de molhamento. A região do sudoeste de Goiás apresenta altitude entre 700 a 900 m. Regiões de menor altitude, porém, com chuvas bem distribuídas, também favorecem o rápido

progresso da doença, devido aos longos períodos de molhamento foliar (Bergamin Filho & Amorin, 1996).

A doença tem início quando urediniósporos, dispersos pelo vento, são depositados sobre a superfície intacta de um folíolo de soja. A interação entre patógeno e hospedeiro levará ao surgimento da lesão típica da doença, sendo que a fase de deposição até a formação de novos urediniósporos constitui um único ciclo de infecção, ou o monociclo (Bergamin Filho & Amorin, 1996). Com um período latente de 9 dias Alves (2007), novos urediniósporos são formados e assim, com a sobreposição de diversos ciclos de infecção (policiclos) a epidemia da doença se estabelece.

Uma particularidade do processo infeccioso do patossistema *P. pachyrhizi* – soja, em relação às outras ferrugens, é a penetração direta do patógeno pela cutícula do hospedeiro. Na maioria das ferrugens a penetração de urediniósporos ocorre pela abertura dos estômatos (Yorinori, 2002).

2.2.4 Controle

Atualmente, a única medida eficaz para a redução dos danos da ferrugem, é o controle químico, sendo realizado principalmente com fungicidas sistêmicos do grupo dos triazóis e misturas de triazóis + estrobilurinas (Yorinori, 2002; Yorinori *et al.*, 1993). Apesar de eficazes, esses produtos são de alto custo e, na maioria das vezes, são necessárias duas ou mais aplicações, onerando os custos de produção. Além disso, o uso contínuo de fungicidas com mesmo princípio ativo pode resultar em resistência do patógeno a esses produtos. Portanto, outras estratégias de controle economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis, porém, com boa relação custo benefício, podem contribuir para o manejo da doença, entre elas, a nutrição mineral.

A eliminação de espécies hospedeiras na entressafra, incluindo a soja, é uma medida importante para reduzir o inóculo inicial no campo, quando realizado em grandes áreas de forma coletiva. O agente etiológico da ferrugem da soja é biotrófico e, portanto, necessita do

hospedeiro vivo para completar seu ciclo de vida. Ao contrário de outras ferrugens, *P. pachyrhizi* infecta ampla gama de espécies de plantas, principalmente leguminosas (Ono *et al.*, 1992).

O “vazio sanitário”, medida legislativa, que, por meio de instruções normativas de cada Estado incluindo Goiás, regulamenta o não cultivo da soja no período da entressafra por no mínimo 90 dias e exige a eliminação de plantas voluntárias da cultura. Essa medida visa à redução do inóculo inicial do patógeno objetivando atrasar ao máximo o início da epidemia. Esta medida pode ser uma das explicações para a menor incidência da ferrugem asiática na safra 2007/2008.

O uso de cultivares de ciclo precoce com semeadura no início da estação de cultivo foge do início da epidemia, pois quando ocorre as plantas já se encontram em fase adiantada de desenvolvimento.

O uso de cultivares resistentes seria outra importante medida de manejo da doença, porém, até o momento nenhum cultivar com resistência parcial ou tolerância foi lançado, mas provavelmente seja uma questão de tempo, visto que programas de melhoramento de soja, seleção de genótipos com resistência parcial e tolerância tornou-se prioritária (Carneiro, 2007).

2.3 SILÍCIO NA AGRICULTURA

2.3.1 Silício no solo e fontes de silício para agricultura

O silício (Si) é um elemento com propriedades elétricas e físicas de um semimetal, desempenhando no reino mineral um papel cuja importância pode ser comparável ao carbono nos reinos vegetal e animal. Possui a capacidade de formar longas cadeias, muitas vezes ramificadas. A palavra silício provém do latim *silex*, rocha constituída de sílica (dióxido

de silício) amorfa, hidratada e sílica microcristalina, que por sua dureza, era utilizada na confecção de utensílios e armas na Era Paleolítica (Lima, 1998).

O solo é composto por minerais, matéria orgânica, flora e fauna. O Si é o segundo elemento mais abundante da litosfera que apresenta 47% de Oxigênio e 28% de Si, sendo preservado no processo pedogenético, em proporção variável com as condições ambientais, temperadas ou tropicais (Malavolta, 2006). Cerca de 80% dos minerais das rochas ígneas e metamórfica são silicatos, enquanto em rochas sedimentárias o conteúdo é menor.

O Si está presente no solo nas seguintes formas:

(1) **Minerais primários**: (olivina, augita, hornblenda, micas, feldspatos, quartzo, entre outros)

(2) **Minerais secundários**: (caulinita, montmorilonita, haloisita, bentonita, ilita), sendo que quase metade do peso das mesmas é representada pelo óxido de silício (SiO_2).

(3) **Adsorvido**: o íon silicato, resultante da desprotonação do ácido silícico Si(OH)4 pode ocupar no complexo de troca com carga positiva os mesmos sítios usados pelos íons fosfato.

(4) **Solução do solo**: O Si na solução do solo é principalmente o ácido orto silícico [Si $(OH)_4$ ou H_4SiO_4] que pode sofrer polimerização progressiva diminuindo sua solubilidade. A solução do Si no solo varia entre três e 40 mg por litro, estando mais comumente entre 14 e 20, diminui quando o pH atinge valores acima de 7 e quando há muitos seisquióxidos presentes e ocorre absorção aniônica, como acontece nos solos muito intemperizados dos trópicos, segundo Marschner, 1995 (citado por Malavolta, 2006).

Os solos das regiões tropicais, entre outros atributos, distinguem-se daqueles das regiões temperadas pelo teor de SiO_2: 3-30% contra 60-95% (Datnoff *et al*., 2001).

Os adubos silicatados aumentam a disponibilidade do fosfato por deslocá-lo da superfície dos sesquióxidos (Datnoff *et al*., 2001). Pereira & Vitti (2003) estudando xisto em Argissolos Vermelho Amarelo, na cultura do tomateiro, observaram aumento na disponibilidade de fósforo com o uso do Si. Carvalho *et al.* (2001) obtiveram ganho de 15,25% no conteúdo de P na matéria seca da parte aérea em mudas de eucalipto cultivadas em um Cambissolo que recebeu doses de Si. Kamprath (1977) citado por Malavolta (2006) trabalhando com Latossolo do Hawai observou que na presença do silicato, diminuiu a quantidade de adubo fosfatado necessário para se obter uma mesma concentração de $H_2PO_4^-$ na solução.

Um grande número de materiais tem sido utilizado como fonte de Si para as plantas: escórias de siderurgia, wollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar, silicato de cálcio, silicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio e silicato de potássio. As escórias siderúrgicas são as fontes mais abundantes e baratas de silicatos. As escórias de siderurgia do ferro e do aço são originárias do processamento em altas temperaturas, da reação do calcário com a sílica presente no minério de ferro (Korndörfer, 1999). A exploração desses produtos gera resíduos em larga escala, causando sérios problemas ambientais, como liberação de elementos tóxicos (Pereira *et al.*, 2003). Uma das formas de minimizar esses danos seria utilizando os resíduos na agricultura. O resíduo siderúrgico praticamente não é utilizado no Brasil, em comparação à outros países, provavelmente devido à falta de pesquisa nessa área (Prado, 2000).

Alguns trabalhos têm demonstrado que as escórias têm grande potencial de utilização na agricultura: termofosfatos granular e em pó na agricultura agroecológica (Bull *et al.*, 1997); escória de mannesman, termofosfato e xisto em tomateiro (Pereira *et al*., 2003); escória de alto forno promoveu crescimento radicular e aumento na produtividade de arroz de terras altas irrigado por aspersão, no campo (Carvalho-Pupatto *et al.,* 2003); escória de fósforo, wollastonita, escória de forno elétrico e de aciária, argila silicatada e xisto em arroz (Pereira *et al.*, 2004); escória de forno elétrico, em tomateiro (Pereira *et al.*, 2007).

2.3.2 Silício na planta

O silício é absorvido pelas raízes na forma de ácido silícico [$Si(OH)_4$] quando o pH está abaixo de 9,0. As plantas diferem grandemente na habilidade para acumular Si, na ordem de 0,1 a 10,0% Si, peso seco (Epstein, 2001). Dentre as angiospermas, espécies de monocotiledôneas *Commelinoides*, ordens *Poales* e *Arecales* acumulam substancialmente mais Si do que outras monocotiledôneas e, entre *Poales*, espécies da família das poaceas (gramíneas) e ciperáceas acumulam altos níveis de Si (Ma & Yamaji, 2006). A maioria das plantas, principalmente dicotiledôneas são incapazes de acumular altos níveis de Si (Epstein,

2001). A diferença em acumular silício entre as espécies têm sido atribuída a diferenças na habilidade de absorção do Si pelas raízes. Os mecanismos de absorção diferem entre espécies de plantas. Em estudo, usando arroz, pepino e tomate, espécies que acumulam alto, médio e baixo níveis de Si, respectivamente, foi encontrado que o transporte de Si da solução externa para células corticais é mediado por um tipo de transportador com um km de 0,15 mM para as três espécies, sugerindo que a densidade do transportador difere entre as espécies (Ma & Yamaji, 2006).

O processo de transporte de Si é dependente de energia porque inibição do metabolismo e baixas temperaturas inibem o transporte (Raven, 2001). Posteriormente o Si é das células corticais para o xilema. A concentração de Si na seiva do xilema é muito maior em arroz do que em pepino e tomate. Além disso, diferentemente do arroz, onde o transporte de Si no xilema é mediado por um tipo de transportador, em tomate e pepino ocorre por difusão (Ma & Takahashi, 2002). Este resultado mostra que o transporte no xilema é o fator mais importante para altos níveis de Si acumularem em plantas de arroz. O menor acúmulo de Si em pepino e tomate pode ser explicado pela baixa densidade de transportadores para transportar Si da solução externa para células corticais e transportadores de Si deficientes ou mesmo ausentes das células corticais para o xilema (Ma & Takahashi, 2002).

Após a absorção de Si pelas raízes, este é translocado para a parte aérea, via xilema. Quando a concentração excede 2 mM, este polimeriza-se na forma de sílica gel ($SiO_2.nH_2O$) (Raven, 2001). Entretanto, a concentração de Si na seiva do xilema é usualmente muito maior que 2 mM em arroz e trigo, embora a maior forma de Si no xilema tem sido identificado como ácido silícico monomérico, nessas espécies de plantas (Liang *et* al., 2006; Ma & Yamaji, 2006).

Nas folhas, o ácido silícico acumula-se através da perda de água (transpiração) e é polimerizado. O processo de polimerização do Si converte ácido silícico para ácido silícico coloidal e finalmente para sílica gel com incremento na concentração de ácido silícico (Epstein, 2001). Em arroz, mais de 90% do total de silício nas plantas está presente na forma de sílica gel, considerando que a concentração de Si monomérico coloidal é mantida entre 140-230 mg L^{-1} de Si. Uma acumulação similar é observada em folhas de pepino, entretanto a concentração total de Si é muito menor do que em arroz. A distribuição de Si nas plantas é

controlada pela transpiração. A precipitação do Si na planta pode ocorrer tanto na parte aérea quanto nas raízes conforme Hodson & Sangster (citado por Ma & Yamaji, 2006) e, uma vez nesta forma, o Si não sofre redistribuição (Raven, 2003). O silício é depositado como uma camada de 2,5 µm no espaço imediatamente abaixo da fina (0,1 µm) camada de cutícula, formando uma dupla camada cutícula-Si no limbo foliar de arroz (Raven, 2003).

Devido à abundância do silício na natureza e ausência de sintomas de toxicidade e deficiência, este elemento não foi percebido até o início do século 20. Entretanto, repetidos cultivos e constantes aplicações de fertilizantes como N, P e K têm esgotado o montante de silício disponível no solo. Uma percepção de deficiência de Si no solo é reconhecida atualmente, como sendo um fator limitante para a produção das culturas, particularmente em solos que o Si é considerado baixo ou a disponibilidade é limitante para plantas e para plantas conhecidas como acumuladoras de Si, como o arroz e a cana (Ma & Yamaji, 2006).

O silício (Si) não é considerado elemento essencial às plantas porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. De acordo com o critério direto de essencialidade, um elemento é considerado essencial quando faz parte de um composto ou participa de uma reação necessária para a sobrevivência da planta. No critério indireto, um elemento é essencial quando, na sua ausência, a planta não completa seu ciclo de vida, não pode ser substituído por nenhum outro elemento, tem efeito direto no crescimento e desenvolvimento das plantas e não exerce nenhum papel neutralizador de efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para a planta (Malavolta, 2006). Mas o efeito benéfico desse elemento para o crescimento, desenvolvimento, produção e resistência a doenças tem sido observado em uma ampla variedade de espécies de plantas.

Atualmente, a Legislação Brasileira de Fertilizantes já considera o Si como um micronutriente benéfico às diversas culturas e sua incorporação aos fertilizantes NPK tornou-se permitida, de acordo com o Decreto Lei 4.954 de 14 de Janeiro de 2004 (Brasil, 2004).

2.3.3 Benefícios do silício para as plantas

A importância do Si na redução de doenças, no aumento da resistência a stress biótico e abiótico é discutida em diversos trabalhos, tanto em monocotiledôneas como em dicotiledôneas, acumuladoras ou não de Si. O uso de Si na adubação poderá contribuir de forma significativa para a redução no uso de defensivos agrícolas e, assim, amenizar o impacto ambiental destes produtos, além de reduzir os custos nas lavouras.

Estudos mostram que o Si controla a brusone do arroz, bem como a mancha parda tão efetivamente quanto alguns fungicidas comerciais (Berni & Prabhu, 2003; Datnoff *et al.*, 2001). A aplicação de Si no solo reduziu de forma significativa o número de aplicações de fungicidas. O Si, em associação com doses reduzidas de fungicidas, foi tão eficiente quanto com doses cheias (Datnoff *et al.*, 1991; 1992; 2001). Além disso, o Si aumentou o nível de resistência parcial de cultivares de arroz à queima das bainhas para um nível equiparável ao das cultivares com resistência completa (Rodrigues *et al.*, 2001).

Rodrigues *et al.* (1999) observaram que o silicato de cálcio aumentou os teores de Ca trocável e a soma de bases, alterando significativamente a supressividade natural do LEa à *R. solani*. Em batata, houve redução da severidade da requeima (*Phytopthora infestans*), em até 50%, com o uso de argila silicatada (Carneiro *et al.*, 2003). Em mudas de cafeeiro, houve redução na área abaixo da curva de progresso total de lesões de cercosporiose com silicato de sódio e, aumento na concentração de lignina nas folhas até a dose de 0,52 g kg^{-1} de silicato de sódio (Botelho *et al.*, 2005). Em feijoeiro houve decréscimo na área abaixo da curva de progresso de incidência e severidade de antracnose e, aumento na duração da área foliar sadia, em plantas tratadas com silicato de cálcio (Moraes *et al*., 2006).

Em soja, plantas tratadas com 40 mg L^{-1} de silicato de potássio, via solução nutritiva, aumentou a resistência ao cancro da haste e promoveu redução em até 90% das lesões (Lima, 1998); redução da podridão de sementes (*Fusarium semitectum*) de soja (Juliatti, *et al*., 2004). Segundo Miyake & Takahashi (1985), para a soja, a deficiência de silício causa sintomas característicos, como a má-formação de folhas novas e a redução da fertilidade do grão de pólen.

O acúmulo de silício na superfície de folhas de pepino e uva impediu o desenvolvimento de hifas de patógeno (Samuels *et al*., 1991). Em pepineiros cultivados em solução nutritiva e inoculados com *Pythium* sp., produziram compostos fenólicos nos

tratamentos com adição de Si (Chérif *et a*l., 1994). Samuels *et al.* (1994) afirma que o Si deve estar solúvel dentro da célula durante a penetração ou no início do processo de infecção por *Podosphaeria xanthii* para que a resistência do pepineiro se manifeste de forma eficiente.

No controle de pragas as aplicações de Si também têm se mostrado positivas. Goussain *et al.* (2002) verificaram maior mortalidade e aumento de canibalismo em grupos de lagartas ao final do 2° ínstar, e maior mortalidade de lagartas individualizadas no 2° e 6° ínstares, quando foram alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com silício. Neri *et al.* (2003) avaliaram, em casa-de-vegeração, que a interação silício e lufenuron no manejo de *S. frugiperda* foi positiva em relação ao inseticida isolado. A aplicação de silício induziu resistência às plantas de sorgo e trigo ao pulgão-verde (*Schizaphis gramminun*) e pulgão-das-gramíneas, respectivamente (Moraes & Carvalho, 2002; Gomes, 2005).

Outro benefício do Si tem sido o aumento da tolerância das plantas à toxidez de Manganês (Mn), proporcionando uma distribuição mais uniforme do Mn na lâmina foliar (Okuda & Takahashi, 1962; Faquin, 2002). O Si torna as folhas, particularmente dos cereais, mais eretas o que tem várias conseqüências, como diminuição no auto-sombreamento, menor acamamento e maior possibilidade de responder à adubação, nitrogenada principalmente (Carvalho-Pupatto *et al.*, 2003). Resende *et al.* (2005) constatou-se que a aplicação de 10,5 L ha^{-1} de Supa Potássio possibilitou o maior retorno em termos de massa fresca comercial e melhor conservação pós-colheita da alface.

O Si aparece em altas concentrações nas folhas da cana-de-açúcar, podendo variar de 0,14% em folhas jovens até 6,7% em folhas velhas. Anderson *et al*. (1991) citado por Korndörfer *et al.* (2002), sugeriram que o nível crítico de silício na matéria seca da folha de cana-de-açúcar seja maior que 1,0%. No Havaí, as folhas contendo menos de 0,5% de Si são freqüentemente afetadas por um sintoma denominado “freckling”. A causa deste sintoma é ainda bastante controvertida, porém a maioria dos pesquisadores atribuem à falta de Si e a desequilíbrios nutricionais. O aparecimento da ferrugem na cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*) também pode estar relacionado com o referido sintoma. O sintoma é mais severo nas folhas mais velhas e a área fotossintética é fortemente afetada. Segundo Fox & Silva (1978) citado por Korndörfer *et al.* (2002), com a aplicação de 6 t ha^{-1} de silicato de

cálcio ao solo o sintoma do "freckling" desaparece. Cheong *et al*. (1971) citado por Korndörfer *et al.* (2002) também provou que o aparecimento de “sarda foliares” é devido a deficiência de Si e não a toxidez de Fe ou Mn.

A forma como o silício atua na planta ainda é muito discutida. Rodrigues *et al.* (2004) relatam que as hipóteses do impedimento físico e do químico devem ser consideradas em conjunto. É bem possível que o Si, por ser um semi-metal, esteja amplificando os mecanismos de resistência do arroz à brusone, principalmente por atuar na rota metabólica dos fenilpropanóides que passam a exercer uma atividade anti-fúngica contra o patógeno (Marschner, 1995). Além disso, o Si estaria agindo no tecido da planta afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta, pelo acúmulo de compostos fenólicos e fitoalexinas, quitinases e peroxidases que podem agir como substâncias antimicrobianas, e da formação de barreiras mecânicas, além da ativação de alguns genes de proteínas relacionadas com a patogênese (PR) (Rodrigues *et al.*, 2005). Esta proposta e os relatos de Chérif *et al.* (1994), auxiliam na compreensão de muitos resultados benéficos do silício onde, apesar de não ser observada barreira física, houve benefício no uso do silício.

Rodrigues *et al.* (2003) estudaram em nível ultraestrutural e citoquímico os eventos da patogênese na interação arroz - *M. grisea* com a aplicação de Si. Os autores apresentaram as primeiras evidências citológicas de que o aumento na resistência do arroz à brusone, mediada pelo Si, foi devido ao acúmulo de compostos fenólicos. Observações ultraestruturais de amostras de folhas coletadas de plantas que não receberam Si revelaram que inúmeras células da epiderme e do mesófilo foram desprovidas de organelas funcionais, além de terem a parede celular completamente degradada por enzimas produzidas pelo fungo. A ocorrência de células fúngicas vazias circundadas por material amorfo (osmiofílico) em amostras de plantas que receberam Si sugere claramente que compostos fenólicos ou fitoalexinas tiveram um papel crucial na resistência do arroz à brusone.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e época de plantio

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Campus Jataí, Universidade Federal de Goiás, do município de Jataí, localizado no Sudoeste de Goiás, com as coordenadas $17^0$53' S e $52^0$43` W e 670 m de altitude. O clima, conforme a classificação de Köppen é Aw, tropical de Savana e megatérmico. Os dados de temperatura média, umidade relativa do ar e Precipitação ocorridos durante o experimento estão descritos na (Tabela1).

Tabela 1. Dados de Temperatura, Umidade Relativa do ar e Precipitação ocorridos durante o experimento.

Meses	Temperatura (^oC)	Umidade Relativa (%)	Precipitação (mm)
Setembro/06	22,9	89	58,3
Outubro/06	24,1	78	218,3
Novembro/06	23,8	81	181,6
Dezembro/06	30,5	81	350,1
Janeiro/07	30,8	80	276,1
Fevereiro/07	30,8	77	307,9
Março/07	31,6	73	152
Abril/07	31,67	69	39,1

Fonte: Posto Meteorológico do INMET, estação Jataí.

O solo predominante é o Latossolo Vermelho distroférrico apresentando 424, 163 e 413 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente. Os solos de Cerrado apresentam alto grau de intemperismo, baixa saturação por bases, baixos teores de Si-trocável e baixas relações (Ki) SiO_2/Al_2O_3 e (Kr) sílica/Sesquióxidos de Fe e Al, apresentando assim, baixa capacidade de fornecimento de Si disponível para as plantas. Os valores de Ki estão em torno de 0,5 a 1,5 (Demattê & Demattê, 1993). Foi realizada a correção do solo de acordo com a análise físico-química de amostras coletadas na área do experimento, (Tabela 2), colocando-se 2,2 ton ha^{-1} do calcário dolomítico filler. Nas parcelas onde o tratamento com silício foi realizado via solo, o calcário foi substituído pelo silicato de cálcio e magnésio (agrosilício). A semeadura da soja foi realizada em 06/12/2006, utilizando a cultivar transgênica Valiosa que apresenta ciclo longo, 130 dias, período juvenil longo, hábito de

crescimento determinado e a população final de 280.000 plantas por hectare. O espaçamento foi de 0,45 m entre linhas.

A área foi dessecada com o herbicida glifosato, 3 L ha^{-1}, com um volume de 120 L de calda por hectare, com pulverizador de arrasto. As demais aplicações, como pós-emergente, inseticidas, foram realizadas com pulverizador costal, e volume de aplicação de 200 L ha^{-1}. As sementes foram tratadas com 100 ml por 100 kg de semente do fungicida (fludioxonil + metalaxyl - S), adubação de 150 kg ha^{-1} de super triplo e após trinta dias do plantio foi realizada uma cobertura com 120 kg ha^{-1} de KCl.

Tabela 2. Atributos químicos de amostras coletadas na área onde foi realizado o experimento

pH	H+Al	Al	Ca	Mg	Ca+Mg	K	P	MO
H_2O	Cmolc dm^{-3}					mg dm^{-3}		mg kg^{-1}
5,7	5,6	0,1	2	0,9	2,7	66	4,1	28

SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cmolc dm^{-3}		%	mg dm^{-3}					
2,9	8,5	34	20	0,2	13	40	39	2,3

3.2 Tratamentos

Os tratamentos utilizados no experimento foram os seguintes: fungicida Sphere® (trifloxystrobin + cyproconazole), Agrosilicio® via solo (CaO: 34,9% - Ca: 25%; MgO: 9,9% - Mg: 6%; SiO_2: 22,4%; Si: 10,5%), Silicato de potássio 12% (via foliar) e o adubo foliar Reflet® (K_2O solúvel em água: 10%; Ca: 6,0%; Zn: 1,0%).

Os tratamentos utilizados estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Descrição dos tratamentos de silício em soja.

Tratamento	Número de aplicações	Época de aplicação
1. Testemunha (Sem Si e sem fungicida)	-	-
2. Fungicida - 300 ml ha^{-1}	3 aplicações	R_1; R_2; $R_{5.1}$*
3. Si via solo - 230 kg ha^{-1}	1 aplicação	15 dias antes plantio
4. Si via solo - 230 kg ha^{-1} + Si foliar - 0,5 L ha^{-1}	1 aplicação no solo e 3 foliares	15 dias antes plantio - Solo e R_1; R_2; $R_{5.1}$* - foliar
5. Si foliar - 0,5 L ha^{-1}	4 aplicações	V_5; R_1; R_2; $R_{5.1}$*
6. Si foliar - 1 L ha^{-1}	3 aplicações	R_1; R_2; $R_{5.1}$*
7. Adubo foliar 5% VV	3 aplicações	R_1; R_2; $R_{5.1}$*
8. Si foliar - 0,5 L ha^{-1}	3 aplicações	R_1; R_2; $R_{5.1}$*
9. Si foliar - 0,5 L ha^{-1} + adubo foliar - 5% VV	3 aplicações	R_1; R_2; $R_{5.1}$*

* Estádios fenológicos da soja e data das aplicações. V_5: quinto nó, quarto trifólio aberto (03/01/07); R_1: Início da floração, até 50% das plantas com uma flor (25/01/07); R_2: Floração plena: Maioria dos racemos com flores abertas (08/02/07); $R_{5.1}$: Grãos com início de formação (perceptíveis ao tato) a 10% da granação (17/02/07). Escala proposta por Ritchie *et al.* (1982) e adaptada por (Yorinori *et al*., 1993).

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Cada unidade experimental ou parcela foi constituída por 10 linhas, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 10 metros de comprimento. Considerou-se como área útil para a coleta dos dados, as oito linhas centrais e como bordadura, as linhas externas e 1,0 m da

extremidade de cada linha. Para a colheita foi considerado 6 m de duas linhas centrais, totalizando uma área útil de 5,4 m^2.

O acompanhamento fenológico da cultura em cada parcela foi realizado utilizando-se a escala proposta por Ritchie *et al.* (1982) e adaptada por Yorinori *et al.* (1993).

3.4 Variáveis avaliadas

3.4.1 Severidade

O experimento foi instalado em uma área experimental com ocorrência natural da ferrugem asiática da soja. Para determinar o início da epidemia foi feito o monitoramento diário da doença, por meio da coleta de folhas e exame em estereomicroscópio para a observação das primeiras urédias do patógeno.

A severidade foi avaliada em intervalos semanais, a partir do surgimento das primeiras pústulas até a desfolha completa por meio de uma escala diagramática (Notas: 0,6; 2; 7; 18; 42 e 78,5%) desenvolvida por Godoy *et al.* (2006). Coletou-se 3 trifólios da haste central de quatro plantas, estimando a severidade nos terços (inferior, médio e superior) da planta, de acordo com as normas para avaliação e recomendação de fungicidas para a cultura da soja (Reunião, 2003):

Com os dados de severidade foram estabelecidas as curvas de progresso da doença, que foram separadas por terços: inferior, médio e superior da planta e também foi feita a média de toda a planta.. A análise do efeito dos tratamentos sobre o desenvolvimento da ferrugem da soja foi feita por meio da variável área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). A AACPD foi calculada pelo método da integração trapezoidal (Berger, 1988). As avaliações da doença na cultura da soja foram realizadas nas seguintes datas: 02/02/07; 09/02/07; 12/02/07; 16/02/07; 22/02/07 e 28/02/07.

3.4.2 Desfolha

Foram realizadas 3 avaliações de desfolha na soja, nas seguintes datas: 17/02/2007; 02/03/2007 e 07/03/2007. Contou-se o número de trifólios total de 5 plantas de soja por parcela. Essas plantas foram marcadas na primeira avaliação, sendo que nas avaliações seguintes foram contados os trifólios restantes das mesmas plantas.

3.4.3 Componentes de produção e produtividade

A colheita foi realizada no momento em que as plantas atingiram a maturidade fisiológica (R9), colhendo-se 6 metros lineares de cada parcela. Foi avaliada a produtividade de cada parcela por meio da quantificação do rendimento (kg ha^{-1}) e massa de 100 grãos. A umidade dos grãos foi determinada por meio de equipamento portátil, procedendo-se, posteriormente, a correção e padronização para 13% de umidade.

O número total de vagens e grãos por planta foi avaliado em 10 plantas coletadas aleatoriamente na área útil de cada parcela. O número de vagens por planta foi determinado pela contagem de todas as vagens da planta e o número de grãos, pela contagem do número de grãos de cada planta, obtidas pela debulha manual das vagens produzidas por cada planta amostrada.

3.5 Análise Foliar

Para a análise foliar foram coletadas 30 folhas de soja de cada parcela (a terceira folha com pecíolo) quando esta se encontrava no estádio R.2, conforme Sousa & Lobato

(2004). As folhas foram lavadas com água destilada e secas em estufa de circulação forçada a 65 ^{o}C, após foram moídas em moinho tipo Willey e acondicionadas em sacos plásticos, em local fresco e seco.

3.5.1 Silício na planta

A determinação do silício na planta foi feita pelo método amarelo. Este processo de extração de silício na planta é feito através da oxidação da matéria orgânica, ou seja, a eliminação do carbono do tecido vegetal com água oxigenada (digestão). O hidróxido de sódio adicionado à solução digestora tem a finalidade de melhorar a eficiência do oxidante e aumentar o pH da solução, visando manter o silício do tecido vegetal em solução. O procedimento de análise e determinação de silício no tecido vegetal foi desenvolvido por Korndörfer *et al.* (2004).

3.5.2 Macronutrientes e Micronutrientes

Para a análise do nitrogênio foi pesada uma amostra de 0,2 gr de folha moída, sendo que o N foi extraído pela digestão sulfúrica.

O NH_4^+ produzido na digestão com $H_2SO_4^-$ é destilado em meio fortemente alcalino. O NH_4^+ condensado é coletado na solução de $H_3BO_3^-$ e titulado com a solução de HCl, (Boer, 1996 citado por Embrapa Solos, 1999).

Para a realização da análise foliar de micronutrientes e de P, K, Ca e Mg, foi pesado uma amostra de 0,5 gramas de folha, e feita a digestão nítrico-perclórica.

O P foi medido por espectrofotometria com azul-de-molibdênio. O íon $H_2PO_4^-$ em meio fortemente ácido reage com molibdato (MoO_4^{2-}), formando um complexo de coloração azul, e a intensidade da coloração é proporcional à de P.

O potássio foi medido pela fotometria de chama. O K da solução aquosa é aspirado na chama ar-GLP e a energia emitida por esse elemento é proporcional à concentração de K.

Ca, Mg e os micronutrientes foram medidos em espectrofotômetro de absorção atômica (EAA).

3.6 Análise de Solo

Para análise de solo foram coletadas amostras de cada parcela, peneiradas e secas ao ar livre, posteriormente foram acondicionadas em local seco. Os resultados foram submetidos à análise de variância e a teste de média utilizando Duncan a 5% de significância.

3.6.1 Silício no solo

A determinação de silício no solo foi feita por colorimetria, após a extração do solo com um sal. O extrator cloreto de cálcio é um sal que tem a capacidade de extrair o Si "disponível" que se encontra principalmente na solução do solo, podendo extrair algumas formas pouco polimerizadas. Não sofre a interferência do calcário recentemente aplicado.

A extração do Si foi feita com uma solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L^{-1}. Pesou-se 10 g de solo e adicionou-se 100 ml da solução extratora em frasco plástico Korndörfer *et al.* (2004).

3.6.2 Macronutrientes e Micronutrientes

Os macro e micronutrientes foram analisados no laboratório de solos do *Campus* Jataí e em um Laboratório Comercial, sendo que os resultados foram submetidos a análise de variância e a teste de média utilizando Duncan a 5% de significância.

3.7 Análise estatística

A análise estatística do experimento foi realizada no programa SAEG, versão 9.0, do qual foram obtidas as análises de variância e teste de média. Para a realização desse procedimento, considerou-se o nível de significância fixado em 5%. Também foi realizado o teste de Cochran & Bartlet, para verificar a normalidade da variância dos tratamentos (Fundação Arthur Bernardes, 2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Severidade da ferrugem asiática da soja

Os resultados de severidade estão apresentados na Figura 1 e Tabela 4. Analisando os terços da planta, separadamente, observa-se que o tratamento 2 obteve a menor área abaixo da curva de progresso da doença em todos os terços da planta, o qual diferiu estatisticamente dos demais tratamentos

O tratamento 5 obteve uma AACPD menor no terço inferior, diferindo estatisticamente da testemunha, entretanto, nos terços médio e superior não houve diferença estatística entre o tratamento 5 e os demais.

A menor área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) foi obtida no tratamento 2, com fungicida (*Trifloxystrobin+Cyproconazole*) (400 ml ha^{-1}), em todos os terços da planta. A severidade média foi 76% menor no tratamento com fungicida em relação à testemunha. A aplicação de Si anterior ao aparecimento da ferrugem influenciou de forma

significativa a severidade da mesma. A severidade média dessas plantas (tratamento 5) apresentou AACPD 22,4% menor em relação à testemunha. É provável que a AACPD nos terços médio e superior não tenham diferido da testemunha devido à maior infecção pelo patógeno nessas porções da planta em função do aumento do inóculo ocorrido no terço inferior associado às condições de microclima favoráveis ao progresso da doença. Os demais tratamentos com silício apresentaram menor AACPD média em relação à testemunha, entretanto não diferiram significativamente da mesma (Tabela 4 e Figura 1).

A ferrugem asiática foi detectada no experimento no dia 23/01/07 e, a primeira aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 25/01/07 (exceto o tratamento 5, que teve uma aplicação anterior, no dia 03/01/07). A aplicação do silício após o início da doença pode explicar o menor controle da mesma nesses tratamentos, visto que os trabalhos mostram que, para o silício ativar os mecanismos de resistência na planta, necessita ser aplicado preventivamente (Rodrigues, *et al*., 2003).

Os resultados de AACPD corroboram com os obtidos por Lima (2006), onde observou que folhas das plantas tratadas com 448 mg de Si kg^{-1} de solo, na ausência de fungicida, apresentaram 45% menos pústulas por cm^2 quando comparadas à testemunha (sem Si e sem fungicida). Rodrigues *et al.* (2005) também observaram que o silício afetou negativamente o desenvolvimento da ferrugem asiática, comparando silicato de potássio (40 g L^{-1}) e hidróxido de potássio, via foliar, encontrando severidade da doença de 25 e 46%, respectivamente.

Resultados negativos foram constatados por Nolla *et al.* (2006) estudando o efeito do silicato de cálcio no controle de doenças na soja.

Samuels *et al.* (1991) observou o acúmulo de Si na superfície de folhas de pepino e uva pulverizadas com Si impedindo o desenvolvimento das hifas de patógeno. Em outro trabalho, a redução da intensidade da doença foi atribuída à indução de mecanismos de resistência. Pepineiros cultivados em solução nutritiva com adição de 100 mg de Si L^{-1} e inoculadas e não inoculadas com *Pythium* sp. produziram compostos fenólicos, quitinases e peroxidases diferindo de plantas não supridas com esse elemento (Chérif *et al.*, 1994).

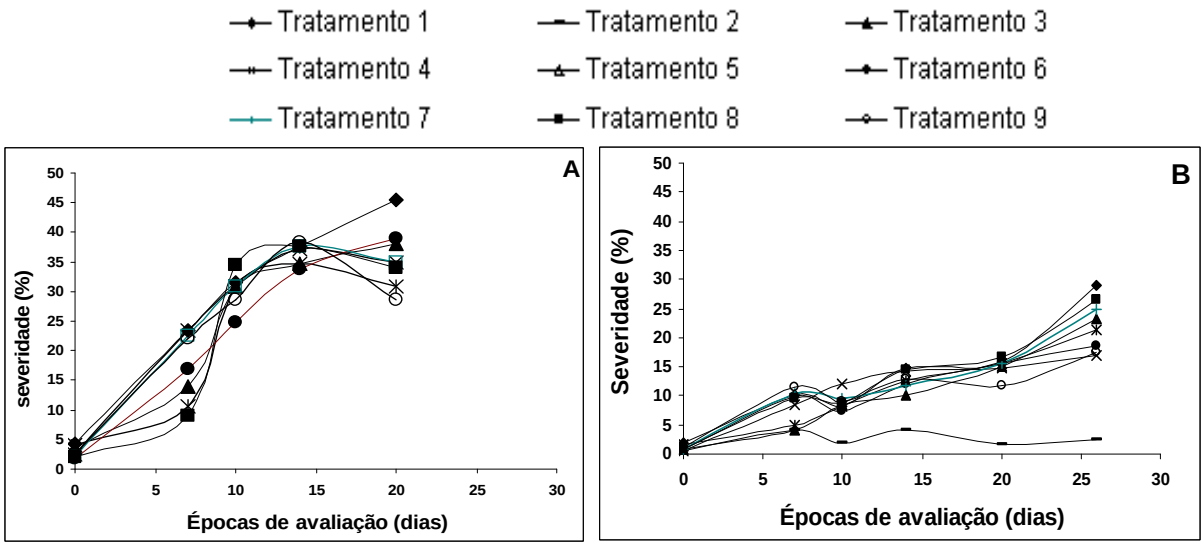
Tabela 4. Curvas da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), no terço

inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) da planta e AACPD média da planta

Tratamento	TI	TM	TS	AACPD média
1	566 a	342 a	57 a	385 a
2	154 c	67 b	12 b	92 c
3	477 ab	264 a	41 a	313 b
4	523 ab	296 a	41 a	333 ab
5	439 b	278 a	46 a	298 b
6	463 ab	286 a	52 a	319 ab
7	519 ab	314 a	47 a	344 ab
8	463 ab	334 a	53 a	334 ab
9	495 ab	278 a	42 a	312 b
CV%	15,85	18,70	21,27	13,98

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Duncan. CV= Coeficiente de Variação

Na figura 1 (A) pode-se observar que não foi feita a última avaliação, isto por que, a epidemia foi tão severa, que com 20 dias do início da doença, houve a desfolha completa do terço inferior de praticamente todas as parcelas.



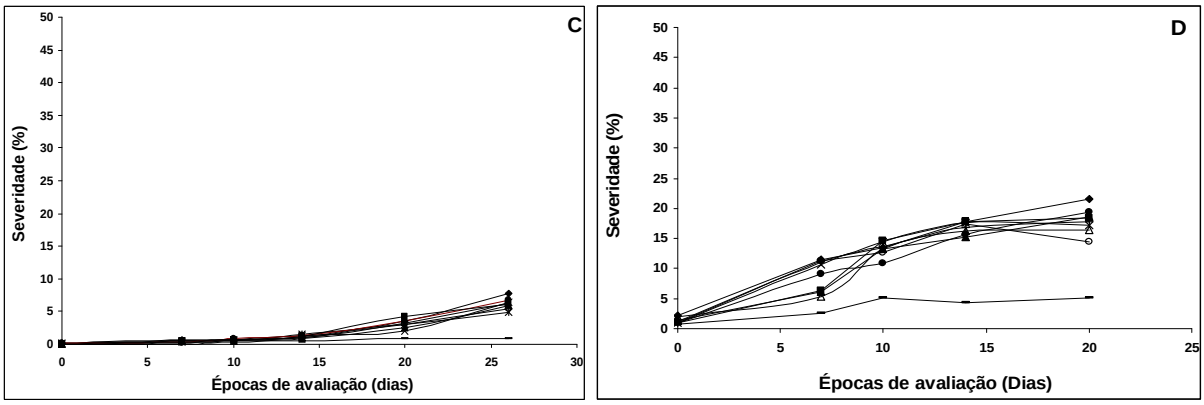


Figura 1. Curvas de progresso da ferrugem asiática da soja. Terço inferior (A), médio (B), superior (C) e média desses terços na planta (D).

4.2 Desfolha

Pela figura 2, pode-se observar a agressividade da doença, pois a partir do seu aparecimento, em menos de um mês houve a desfolha completa da soja. O tratamento 2 apresentou a menor desfolha (38%), sendo que os demais tratamentos não diferiram entre si, havendo uma desfolha de 80%, da primeira avaliação 17/02/2007 até a última 07/03/2007.

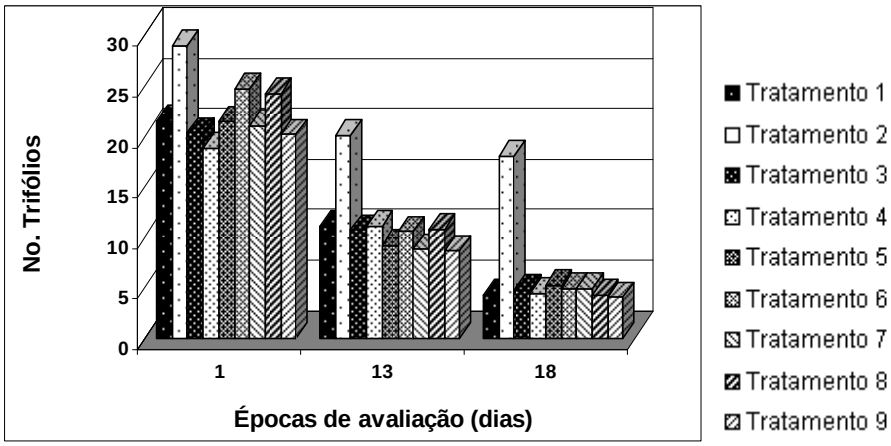


Figura 2. Número de trifólios por planta de soja que receberam os diferentes tratamentos. Tratamento 1: testemunha; Tratamento 2: fungicida; Tratamento 3: Si via solo; Tratamento 4: Si via solo e 3 aplicações de 0,5 L ha^{-1} de Si; Tratamento 5: 4 aplicações de 0,5 L ha^{-1} de Si; Tratamento 6: 3 aplicações de 1 L ha^{-1} de Si; Tratamento 7: 3 aplicações de 0,5 L ha^{-1} de adubo foliar; Tratamento 8: 3 aplicações de 0,5 L ha^{-1} de Si; Tratamento 9: 3 aplicações de 0,5 L ha^{-1} de Si e adubo foliar.

4.3 Componentes de produção

Tabela 5. Valores médios de produtividade, número de vagens, número de grãos e peso de 100 grãos

Tratamento	Produtividade (kg ha^{-1})	No. Vagens (*)	No. Grãos (*)	Peso 100 grãos (g)
1	1148 c	39,65 a	62,83 a	9,63 a
2	2378 a	60,10 a	123,23 b	13,26 b
3	1229 bc	41,38 a	69,35 a	9,89 a
4	1110 c	42,78 a	72,23 a	10,23 a
5	1345 b	39,28 a	65,35 a	10,04 a
6	1228 bc	53,45 a	74,95 a	10,00 a
7	1196 bc	44,98 a	76,35 a	9,96 a
8	1157 c	41,50 a	69,45 a	9,95 a
9	1154 c	35,98 a	61,98 a	10,02 a
CV (%)	7,75	25,59	20,43	5,37

* Média do número de vagens e número de grãos de 10 plantas
Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

O tratamento com fungicida (2) obteve a maior produtividade, número de grãos e peso de 100 grãos, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. O tratamento 5 obteve uma produtividade menor em relação ao tratamento 2, mas foi superior aos demais tratamentos, diferindo estatisticamente do tratamento 1 (testemunha). Este resultado ocorreu provavelmente devido as aplicações neste tratamento terem se iniciado anterior ao aparecimento da ferrugem. O número de vagens não diferiu entre os tratamentos (Tabela 5).

O resultado obtido neste trabalho concorda com os resultados obtidos por Juliatti *et al.* (2004), onde não houve efeito do silicato de cálcio em pó e granulado, no aumento do peso de 100 grãos e diminuição da desfolha da soja nos tratamentos onde foi utilizado silício via solo. Os resultados encontrados neste trabalho indicam, que haverá possibilidades de utilizar o silício (aumento em 3,3 sc ha^{-1} e redução em 22,5 % na severidade da ferrugem asiática), com o objetivo de reduzir o uso de outros produtos de controle de doenças na soja, podendo ser, portanto, parceiro para o controle integrado de doenças da soja de no sudoeste de Goiás.

Nolla *et al.* (2006) observou que o Si se mostrou promissor em algumas doenças da soja, mas não foi positiva na ferrugem asiática, possivelmente pela baixa deposição de Si nas folhas em dicotiledôneas.

4.4 Teores de macronutrientes, micronutrientes e Si nas folhas de soja

Os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes (exceto zinco) na parte aérea das plantas não foram influenciados pelos tratamentos utilizados (Tabela 7) e estão na faixa dos valores encontrados na literatura (Tabela 6). Os resultados confirmam os obtidos por Moraes e Carvalho (2002), que não observaram diferenças nos teores de N e P. Lima (2006) também não observou teores diferentes de nitrogênio, potássio e magnésio com o aumento das doses de silício.

Moraes e Carvalho (2002) observaram que os teores de potássio, cálcio, magnésio, enxofre e zinco foram influenciados pelas doses de silicato de cálcio e sulfato de cobre.

A concentração de silício foi maior nos tratamentos que receberam este elemento, tanto via solo como via foliar (Figura 3), diferindo estatisticamente dos tratamentos que não receberam Si. Essa resposta da aplicação do silício pode estar relacionada ao baixo Ki dos Latossolos da região de Cerrado.

Tabela 6. Teores de nutrientes encontrados na parte aérea de plantas de soja, folhas de soja e níveis críticos destes nutrientes para cultura da soja

	N	P	K	Ca	Mg
	g Kg^{-1}				
1	38,2-41,6	8-12	23,3-29,2	15,3-18,6	2,4-2,5
2	45-55	2,6-5,0	17-25	4-2	3-10

1. Teores de nutrientes encontrados em folhas de soja cultivada em solução nutritiva (Oliveira Júnior, 1996).
2. Níveis críticos de macronutrientes para cultura da soja (Faquin, 2002).

Tabela 7. Valores médios de macronutrientes na folha de soja

Trat	N	K	P	Ca	Mg
	g kg^{-1}				
1	40,20 a	33,99 a	6,96 a	10,89 a	4,04 a
2	44,78 a	31,12 a	7,61 a	11,51 a	4,39 a
3	44,40 a	29,22 a	7,39 a	10,98 a	4,23 a

4	44,01 a	30,06 a	6,96 a	10,25 a	3,94 a
5	42,47 a	30,49 a	7,35 a	11,05 a	4,05 a
6	44,56 a	27,53 a	6,62 a	11,39 a	4,28 a
7	43,55 a	30,06 a	7,99 a	11,19 a	4,21 a
8	42,25 a	30,59 a	7,01 a	11,73 a	4,16 a
9	41,56 a	29,32 a	6,75 a	10,35 a	3,83 a
CV%	3,59	7,30	10,26	8,49	9,50

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

Tabela 8. Valores médios de micronutrientes na folha de soja e Silício

Trat	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	mg kg^{-1}				g kg^{-1}
1	23,00 a	132,75 a	61,75 a	23,75 b	2,38 b
2	22,50 a	151,75 a	55,75 a	26,00 ab	3,20 ab
3	22,75 a	127,50 a	60,50 a	29,00 ab	4,65 a
4	23,75 a	189,00 a	63,25 a	30,00 ab	4,23 ab
5	22,75 a	138,25 a	58,75 a	28,00 ab	3,13 ab
6	22,50 a	144,00 a	59,50 a	30,25 ab	3,00 ab
7	24,00 a	137,25 a	63,00	31,25 a	2,45 b
8	22,25 a	130,25 a	63,25 a	27,75 ab	2,75 ab
9	22,33 a	127,33 a	57,67 a	28,00 ab	3,20 ab
CV%	6,69	27,12	9,79	10,26	24,83

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Duncan.

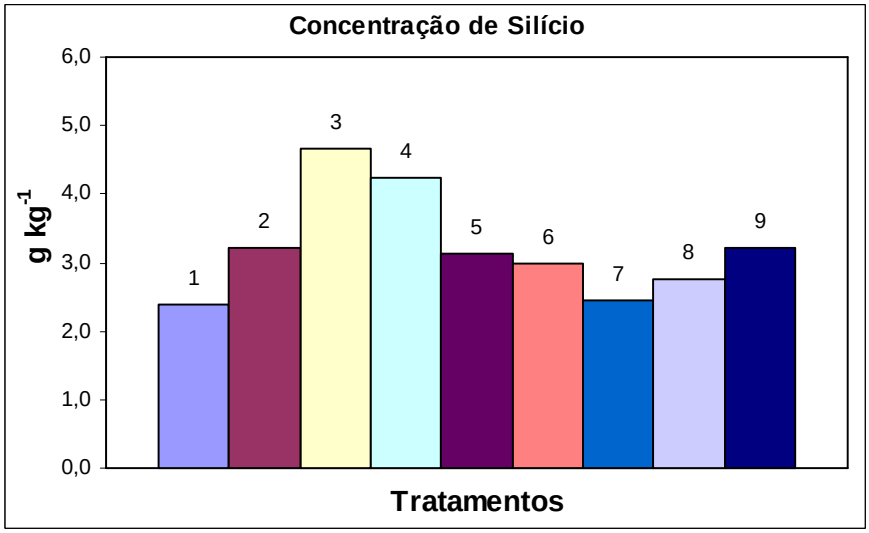


Figura 3. Teor de Silício nas folhas de soja, cultivar Valiosa

Os teores de zinco foram influenciados pela adubação foliar e provavelmente pela adubação com silício, visto que a testemunha apresentou menor teor de zinco, em relação aos outros tratamentos (Tabela 8).

4.5 Teores de macronutrientes e Si no solo

Não houve diferença entre os teores de macronutrientes, H+Al e Al no solo, estatisticamente, visto que os tratamentos foram balanceados para receber a mesma dosagem de macronutrientes e corrigidos igualmente (Tabela 9). Também não houve diferença estatística entre os tratamentos com relação ao pH, matéria orgânica, CTC e saturação de bases (Tabela 10).

O silício aplicado via solo (Tratamentos 3 e 4) na dosagem de 230 kg ha^{-1}, possibilitou o maior teor de Si em relação aos demais tratamentos, diferindo significativamente da testemunha sem silício.

As poaceas têm a vantagem de acumularem mais silício na planta em relação às dicotiledôneas. Mas assim mesmo, neste grupo de plantas, sendo que a soja está inclusa, a concentração de silício tem proporcionado vantagens diversas refletindo na produtividade. A concentração de Si, constatada neste experimento, na soja transgênica Valiosa (Tabela 10) quando aplicado no solo na forma de silicato de cálcio, embora de forma significativa, foi ainda pequena.

Estes resultados corroboram com os encontrados por Juliatti *et al.* (1996 e 2004) que observaram que a cultivar Savana apresentou um maior teor de silício acumulado na parte aérea (folhas e hastes) em relação às cultivares UFG-15, Cristalina e FT-Estrela.

Tabela 9. Valores médios de macronutrientes, H+Al e Al no solo

TRAT	H+Al	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ca+Mg	K	P
	Cmolc dm^{-3}					mg dm^{-3}	
T1	4,22 a	0,03 a	3,80 a	1,37 a	5,16 a	126,2 a	4,49 a
T2	4,22 a	0,03 a	3,94 a	1,69 a	5,63 a	91,5 a	4,49 a
T3	4,05 a	0,03 a	3,71 a	1,84 a	5,55 a	94,6 a	6,47 a
T4	4,86 a	0,04 a	3,06 a	1,87 a	4,93 a	97,6 a	5,39 a

T5	4,37 a	0,04 a	3,89 a	1,52 a	5,41 a	111,6 a	4,85 a
T6	3,66 a	0,03 a	3,83 a	1,52 a	5,35 a	106,9 a	3,77 a
T7	4,31 a	0,03 a	3,93 a	1,38 a	5,31 a	102,1 a	7,73 a
T8	4,39 a	0,04 a	4,04 a	1,34 a	5,38 a	111,9 a	4,67 a
T9	3,82 a	0,04 a	3,75 a	1,62 a	5,37 a	90,3 a	2,50 a
CV%	16,66	18,48	11,70	20,87	10,69	18,97	30,66

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade (Teste de Duncan).

Tabela 10. Valores médios de pH, MO, SB, CTC, V e Si no solo

TRAT	pH	MO	SB	CTC	V	Si
	H_2O	g kg^{-1}	____$cmol_c$ dm^{-3}____		%	mg kg^{-1}
T1	5,93 a	30,58 a	5,49 a	9,70 a	56,61 a	14,48 b
T2	6,03 a	32,16 a	5,86 a	10,08 a	58,11 a	15,52 ab
T3	5,92 a	32,70 a	5,80 a	9,85 a	58,85 a	19,73 a
T4	5,79 a	31,75 a	5,18 a	10,04 a	51,70 a	19,65 a
T5	6,03 a	33,19 a	5,69 a	10,06 a	56,90 a	16,12 ab
T6	5,98 a	32,64 a	5,62 a	9,28 a	60,47 a	15,03 b
T7	6,12 a	33,33 a	5,57 a	9,88 a	56,59 a	14,14 b
T8	5,94 a	31,00 a	5,67 a	10,06 a	56,58 a	14,61 b
T9	6,19 a	29,90 a	5,60 a	9,42 a	59,33 a	17,35 ab
CV%	3,28	5,11	10,4	5,40	10,65	16,04

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade (Teste de Duncan)

5 CONCLUSÕES

- A concentração de silício nas folhas e no solo foi maior com a aplicação de silicato de cálcio + magnésio via solo.
- O maior número de aplicações promoveu maior controle da doença.
- A AACPD foi menor no tratamento com silício via foliar, aplicado antes do aparecimento da doença.

- O adubo foliar aumentou o teor de zinco nas folhas.

REFERÊNCIAS

AKAMATSU, M.A.; FIGUEIREDO, M.B.; HARAKAVA, R. Detecção e distinção de *Phakopsora pachyrhizi* e *P. meibomiae* em Amostras do Herbário Uredinológico do Instituto Biológico. **Fitopatologia Brasileira*,*** Brasília, v.29, supl., p.277-278, 2004. (Resumo).

ALVES, S.A.M. **Quantificação dos parâmetros de pré-penetração e monociclos relacionados ao patossistema *Phakopsora pachyrhizi*-soja.** 2007. 64p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

ARANTES, N.E. e SOUZA, P.I.M. de. **Cultura da soja nos Cerrados**. 3. ed. Piracicaba: Potafós, 1993. 535p.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças das plantas tropicais**: epidemiologia e controle econômico. São Paulo: Ceres, c.5, p. 73-97, 1996.

BERGER, R.D. The analysis of the effects of control measures on the development of epidemics. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. (Ed.). **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. Heidelberg: Springer-Verlang, 1988. p.137-151.

BERNI, R.F.; PRABHU, A.S. Eficiência relativa de fontes de silico no controle de bruzone nas folhas em arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.38, n.2, p.195-201, 2003.

BOTELHO, D.M.S., POZZA, E.A., POZZA, A.A.A., CARVALHO, J.G. de, BOTELHO, C.E. e SOUZA, P.E. de. Intensidade da Cercosporiose em Mudas de Cafeeiro em Função de Fontes e Doses de Silício. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v.30, n.6, p.582-588. 2005.

BRASIL. Decreto n° 2954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da lei n° 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas (Texto Integral)** - DEC 004954, 14 Jan., 2004. 27p.

BROMFIELD, K.R. **Soybean Rust Monografy**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1v, 1984.

BULL, L.T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agronômica. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.169-179, 1997.

CARNEIRO, L.C. **Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise da tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática**. 2007. 75f. Tese (Doutorado em Fitopatologia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

CARNEIRO, L.M.S.; JULIATTI, F. CÉZAR; OLIVEIRA, R.G.; KORNDÖRFER, G.H.; AMADO, D.F. e RAMOS, H.F. **Uso de argila de silício na redução da severidade de *Phytophthora infestans* em batateira**. 2003. Trabalho apresentado ao XXXVI Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2003.

CARVALHO JÚNIOR, A.A.; FIGUEIREDO, M.B. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.26, p.197-200, 2000.

CARVALHO, R., FURTINI NETO, A. E., SANTOS, C.D. dos, FERNANDES, L.A., CURI, N. e RODRIGUES, D. de C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.36, n.3, p.557-565, 2001.

CARVALHO-PUPATTO, J.G., BÜLL, L.T., CRUSCIOL, C., MAUAD, A. C., M. e SILVA, R.H. da. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.38, n.11, p.1323-1328, 2003.

CHABOUSSOU, E. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose**. Porto Alegre: Le PM, 1987. 256p.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology.** Saint Paul, v.84, n.3, p.236-242, 1994.

Comissão de Levantamento de Dados Agrícolas de Jataí. **Prefeitura Municipal de Jataí**. Jataí, 2007.

Companhia Nacional de Abastecimento. Avaliação da Safra Agrícola 2007/2008. Brasília: Conab, 2007. Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>. Acesso em: jan 2008.

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, Saint Paul, v.75, n.7, p.729-732, 1991.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; DEREN, C. W. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and on rice yields. **Plant Disease**, Saint Paul, v.76, n.10, p.1011-1013, 1992.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. 1. ed. The Netherlands: Elsevier Science, 2001. ISBN 0-444-50262-9.

DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta amazônica e do cerrado do Brasil Central. Scientia Agrícola, Piracicaba, v.50, n.2, p.272-286, 1993.

DESLANDES, J.A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causadas por *Phakopsora pachyrhizi* no Estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.4, p.337-339, 1979.

ELLIOTT, C.L. e SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.39, p.1118-1119, 1991.

EMBRAPA. Fábio César da Silva (Org). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370p.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. 1. ed. The Netherlands: Elsevier Science, p.41-55, 2001.

FAQUIM, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 76p.

FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES. **Sistema para análises estatísticas**: SAEG 9.0. Viçosa, 2005. 1 CD-ROM.

GODOY, C.V.; KOGA, L.J. e CANTERI, M.G. Diagrammatic Scale for Assessment of Soybean Rust Severity. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v.31, n.1, p.63-68, 2006.

GOMES, F.B. **Indução de resistência em trigo por silício e pelo pulgão *Schizaphis graminum***. Lavras: UFLA, 2005. 51p. (Dissertação de mestrado).

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v.31, n.2, p.305-310, 2002.

JULIATTI, F.C.; RODRIGUES, F.Á., KORNDÖRFER G.H., SILVA, O.A., CORREA, F.F. e PEIXOTO, J.R. Efeito da aplicação de silício na indução de resistência a *Diaporthe phaseolorum* f. sp. Meridionalis em cultivares de soja com diferentes níveis de resistência. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v. 21, p.362, 1996. (Resumo)

JULIATTI, F.C. *et al.* 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, 2004.

KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H.; MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.23, p.101-106,1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M.S. Papel do Silício na Produção de Cana-de-Açúcar. **STAB**. Piracicaba, v.21 n.2, p. 6-9, 2002.

KORNDÖRFER, G.H; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de Silício no solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, n.2, 2004. 27p.

LIANG, Y.; HUA, H.; ZHU, Y.; ZHANG, J.; CHENG, H.; RÖMHELD, V. Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport. **New Phytologist**. Lancaster, v.172, p.63–72, 2006.

LIMA, M. T. G. de. **Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum f. SP. Meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [Glycine Max (L.) Merril]**. 1998. 58p. Tese (doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba, 1998.

LIMA, L.M. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow e P. Sydow) com fungicidas e silício**. 2006. 81p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MA, J.F. e TAKAHASHI, E. Soil, fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. **Elsevier Science**, 2002.

MA, J.F. e YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**. v.11, n.08, p.392-397, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 238p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in the solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**. Tokyo, v.31, n.4, p.625-636, 1985.

MORAES, J.C. e CARVALHO, S.P. Indução de resistência em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor)* (L.) Moench. ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond., 1852) com a aplicação de silício. **Ciência agrotécnica**. Lavras, v.26, n.6, p.1185-1189, 2002.

MORAES, S.R.G.; POZZA, E.A.; ALVES, E.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G.; LIMA, P.H. e BOTELHO, A.O. Efeito de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v.31, p.069-075, 2006.

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

NOLLA, A.; KORNDORFER, G.H.; COELHO, L. Efficiency of calcium silicate and carbonate in soybean disease control. **Journal of plant nutrition**, London, v.29, n.11, p.2049-2061, 2006.

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. Effect of supply on the injuries due to excessive amounts of Fe, Mn, Cu, As, Al, Co of barley and rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**. Japan, v. 33, p.1-8, 1962.

ONO, Y.; BURITICÁ, P.; HENNEN, J.F. Delimitation of *Phakopsora, physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. **Mycological Research**. Cambridge, v.96. p.825-850, 1992.

PEREIRA, H.S., VITTI, G. C. e KORNDORFER, G.H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.101-108, 2003.

PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; VIDAL, A. de A.; CAMARGO, M.S. de. Silicon sources for Rice crop. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.61, n.5, p.522-528, 2004.

PEREIRA, H.S.; QUEIROZ, A.A.; MARTINS, M.R.; CAMARGO, M.S. de; KORNDÖRFER, G.H. Potencial de uso de agregados siderúrgicos e outras fontes de silício em quatro materiais de solo fase cerrado. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v.23, n.3, p.17-31, 2007.

PRADO, R.M. **Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo**. 2000. 79f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2000.

RAMOS, L.P. Produtos Alternativos da Soja: biocombustíveis e lubrificantes automotivos. Congresso de Tecnologia e Competitividade da soja no mercado global, **Anais**. Cuiabá: Fundação MT, p.111-116, 2000.

RAVEN, J.A. Silicon transport at the cell and tissue level. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. 1. ed. The Netherlands: Elsevier Science, p.41-55, 2001.

RAVEN, J.A. Cycling silicon – the role of accumulation in plants. **New Phytologist**. Lancaster, v.158, p.419-430, 2003.

RESENDE, G.M. de; YURI, J.E.; MOTA, J.H.; RODRIGUES JÚNIOR, J.C.; SOUZA, R.J. de; CARVALHO, J.G. de. Produção de alface americana em função de doses e épocas de aplicação de Supa Potássio. **Horticultura brasileira**. Campinas, v. 23, n.2, 2005.

Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil, 25. Uberaba. Ata. Londrina: Embrapa Soja: EPAMIG: Fundação Triângulo, Embrapa Soja. Documentos, 222, 2003.

RICHIE, S.; HANNWAY, J.J.; THOMPSON, H.E. **How a soybean plant develops**. Ames: Cooperative Extension Service, 1982. 20p. (Special Report, 53).

RODRIGUES, F.Á., CORRÊA, G.F., KORNDÖRFER, G.H., SANTOS, M.A. DOS e DATNOFF, L.E. Efeito do silicato de cálcio e da autoclavagem na supressividade e na conducividade de dois solos à rhizoctonia solani. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília. n.8, v.34, p.367-371, 1999.

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**. Charleston, v.85, p.827-832, 2001.

RODRIGUES, F.Á.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; BELANGER, R.R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-Mediated rice blast resistance. **Phytopathology**. San Diego. n.5, v.93, p.535-546, 2003.

RODRIGUES, F.Á.; McNALLY, D.J.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**. San Diego. v.94, p.177-183, 2004.

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

RODRIGUES, F.Á.; DUARTE, H.S.S.; KORNDÖRFER, G. H.; ZAMBOLIM, L. Effect of foliar application of potassium silicate on asian soybean rust development on soybean. In: **III Silicon in agriculture conference**. Uberlândia. p.105, 2005.

SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D. M.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**. Oxford, v.14, n.5, p.484-492, 1991.

SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; MENZIES, J.G.; EHRET, D.L. Silicon in cell walls and papillae of *Cucumis sativus* during infection by *Sphaerotheca fuliginea*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. The Netherlands. v.44, p.237-242, 1994.

SOUSA, D.M.G. de e LOBATO, E. **Cerrado:** Correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

YORINORI, J.T, CHARCHAR, M.J.A., NASSER, L.C.B., HENNING, A.A. Doenças da soja e seu controle. In: ARANTES, N.E., SOUZA, P.I.M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafós. p.333-397, 1993.

YORINORI, J.T. Epidemia da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, em 2001 e 2002. **Fitopatologia Brasileira**, Jaboticabal, v.27 (Suplemento), S.178, 2002.

YORINORI, J.T.; LAZZAROTO, J. J. **Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e na América do Sul**. Londrina: EMBRAPA soja. 2004. 27p.