

**DOSES DE SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE DE
SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill] E SUAS
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS**

PÉRICLES PEREIRA JÚNIOR

2008

PÉRICLES PEREIRA JÚNIOR

**DOSES DE SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE DE SOJA [*Glycine max* (L.)
Merrill] E SUAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Pedro Milanez de Rezende

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Pereira Júnior, Péricles.

Doses de silício na produtividade de soja [Glycine max (L.) Merrill] e suas características agronômicas / Péricles Pereira Júnior. – Lavras : UFLA, 2008.

28 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Pedro Milanez de Rezende.

Bibliografia.

1. Silício. 2. Produtividade. 3. Soja. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 633.34

PÉRICLES PEREIRA JÚNIOR

**DOSES DE SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE DE SOJA [*Glycine max* (L.)
Merrill] E SUAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 5 de março de 2008

Prof. Élberis Pereira Botrel UFLA

Prof. Moizés de Souza Reis EPAMIG

Prof. Pedro Milanez de Rezende
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Aos meus pais, Péricles e Virgínia, pelo exemplo de perseverança e luta, em busca dos objetivos de vida. Serão eternamente minha maior inspiração.

OFEREÇO

Aos meus irmãos, Renata, Fernanda e Felipe, pelo companheirismo e pela amizade. À minha linda afilhada, Maria Fernanda, pelos sorrisos e pela alegria que me proporciona. Ao meu amor, Rafaela, pela força e ajuda em toda esta etapa da minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Pedro Milanez de Rezende, pela orientação, confiança e entusiasmo, que permitiram a realização de um sonho, que foi este projeto.

Aos colegas que me ajudaram na realização do projeto, especialmente aos colegas da pós-graduação: Stephan, Luiza, Rafaela, Eudes e Jorge, pela amizade.

Às secretárias Marli e Neuzi, do Departamento de Agricultura, sempre dispostas a ajudar.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade de realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 A cultura da soja	3
2.2 Fontes de silício	3
2.3 Uso de silício X aproveitamento de fósforo	5
2.4 Benefícios do silício.....	6
2.5 Silício na cultura da soja.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Área experimental.....	10
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	12
3.3 Instalação e condução do experimento	12
3.4 Características avaliadas	14
3.5 Aplicação e características do silício utilizado	14
3.6 Análise estatística	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Produtividade, peso de 1000 sementes e número de sementes por legume ..	16
4.2 Número de legume por planta, altura da planta e inserção de 1º legume	19
5 CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

RESUMO

PEREIRA, Péricles Júnior. **Doses de silício na produtividade de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e suas características agronômicas**. 2008. 27 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

A soja é o principal produto agrícola da exportação brasileira, portanto, torna-se importante a realização de estudos que contribuam para a minimização dos efeitos que possam causar a diminuição do rendimento e a depreciação da qualidade dessa oleaginosa, como a ocorrência de pragas e doenças, problemas com a fertilidade do solo e adversidades climáticas, entre outros. Sabe-se que as plantas diferem na sua capacidade de absorver silício-Si, sendo, portanto, diferentemente classificadas. A influência do Si no desenvolvimento vegetativo em plantas de soja ainda é pouco conhecida, havendo poucos estudos descritos na literatura. Sabendo disso, objetivou-se neste trabalho avaliar a resposta de plantas de soja à dosagem variável de silício no plantio, por meio de características de desenvolvimento das plantas no campo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com três repetições, tendo como tratamentos as seguintes doses de silício (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 kg ha⁻¹) na semeadura da cultivar BRS MG 68 Vencedora. As doses de silício utilizadas não proporcionaram aumentos significativos na produtividade de grãos, peso de mil sementes e número de sementes por legume. Com elevação das doses, houve aumento significativos no número de legumes por planta, altura de planta e inserção do primeiro legume. Por outro lado, com as doses aplicadas não houve efeitos fitotóxicos na planta de soja.

*Comitê de Orientação: Pedro Milanez de Rezende – UFLA (Orientador).

ABSTRACT

PEREIRA, Péricles Júnior. **Doses of silicon in yield of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] and their agronomic characteristics.** 2008. 27p. Dissertation (Master Degree in Crop Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG*.

The soybean is the main agricultural product export of Brazilian therefore it is important to conducting studies that contribute to the mitigation of the effects that might cause a decrease in income and depreciation of the quality of that oleaginous as the occurrence of pests and diseases, problems with soil fertility and climatic adversities, among others. It is known that plants differ in their ability to absorb silicon-Si and therefore are classified differently. The influence of vegetation on Si in the development of soybean plants is still little known, but few studies described in the literature. Knowing applicable, objective of this work was to evaluate the response of plants to the soybean variable dosage of silicon in the plantation, through the development characteristics of the plants in the field. The experimental design was a randomized complete blocks (CBD), with three replicates, with the treatment the following doses of silicon (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 and 500 kg ha⁻¹) at sowing cultivar BRS MG 68 Vencedora. Doses of silicon used not provided significant increases in seed yield, weight of a thousand seeds and number of seeds per vegetable. With increased doses, there was significant increase in the number of pods per plant, plant height and insertion of the first vegetable. Moreover, with the doses applied there was no phytotoxic effects on the soybean plant.

* Guidance Committee: Pedro Milanez de Rezende – UFLA (Adviser)

1 INTRODUÇÃO

A soja é o principal produto agrícola da exportação brasileira e a produção nacional na safra 2005/2006 foi de 55 milhões de toneladas (Companhia Nacional de Abastecimento, Conab, 2007). Diante disso, torna-se importante a realização de estudos que contribuam para a minimização dos efeitos que possam causar a diminuição do rendimento e a depreciação da qualidade dessa oleaginosa, como a ocorrência de pragas e doenças, problemas com a fertilidade do solo e adversidades climáticas, entre outros. O fornecimento de insumos adequados, como os nutrientes necessários para o ciclo da cultura, é de importância inquestionável. Assim, o estudo sobre a utilização de silício (Si) na cultura da soja torna-se necessário por apresentar potenciais benefícios para a cultura.

O Si é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre, estando logo após o oxigênio. O Si acumula-se nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1% a 10% da matéria seca. Esse elemento ainda não foi reconhecido como nutriente das plantas, porque a sua função ainda não foi bem esclarecida (Epstein, 1999). Devido à sua abundância, o Si é encontrado em grande quantidade nos solos e nas mais diversas formas, desde a mais cristalina, como o quartzo quase insolúvel, até a forma mais solubilizada do ácido monossilícico, que é absorvida pelas plantas. Assim, a disponibilidade de Si para as plantas depende mais da forma em que é encontrado no solo do que da quantidade, isto é, um solo arenoso rico em quartzo não significa um solo rico em Si “disponível” às plantas, a mesma consideração também deve ser feita para as fontes. Entretanto, mesmo não sendo essencial para a nutrição das plantas, sua absorção traz inúmeros benefícios. É reconhecida sua influência na resistência das plantas ao ataque de insetos, nematóides, bactérias e fungos, na melhoria do

estado nutricional, na redução da transpiração e, possivelmente, também em alguns aspectos da eficiência fotossintética. No entanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, aveia, trigo, milho, grama Kikuyu, grama-bermuda, etc.) e de algumas espécies não-gramíneas (alfafa, feijão, tomate, alface e repolho) são observados com o aumento da disponibilidade de Si para as plantas (Silva, 1973; Elawad & Green, 1979).

Em solos pobres em Si, como as áreas sob vegetação de cerrado, de acordo com Raij & Camargo (1973), pode-se esperar respostas para a aplicação de Si na forma de fertilizantes e/ou corretivos silicatados, principalmente, quando aplicado em plantas acumuladoras de Si, como é o caso da maioria das gramíneas.

As principais características de uma fonte de Si, para fins agrícolas, são: alto conteúdo de Si solúvel, facilidade para a aplicação mecanizada, boas relações e quantidades de cálcio e magnésio, baixo custo e ausência de potencial de contaminantes do solo, com metais pesados. Para suprir essas demandas, há necessidade de se investigar e identificar as fontes mais promissoras de Si disponíveis, capazes de fornecê-lo para as plantas, com as características acima mencionadas. Os silicatos de Ca e Mg, provenientes das escórias da produção de aço, desde que não tenham um potencial de contaminantes do solo, com os metais pesados, podem atender perfeitamente a essa demanda.

A influência do Si no desenvolvimento vegetativo em plantas de soja ainda é pouco conhecida. Sabe-se que as plantas diferem na sua capacidade de absorver Si, sendo classificadas em plantas acumuladoras, não-acumuladoras e intermediárias, como é o caso da soja.

Objetivou-se com este trabalho foi avaliar a resposta de plantas de soja a doses de silício fornecidas no plantio, por meio de características agronômicas e de produtividade das plantas em campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da soja

Soja é um grão rico em proteínas, cultivado como alimento tanto para humanos quanto para animais. A soja pertence à família Fabaceae (leguminosa), assim como o feijão, a lentilha e a ervilha. A palavra soja vem do japonês *shoyu*. A soja é originária da China.

O maior produtor de soja do mundo são os Estados Unidos, seguido do Brasil, Argentina, China, Índia e Paraguai. A produção mundial de soja em 2006 foi de 227 milhões de toneladas (Federação da Agricultura do Estado do Paraná, FAEP, 2006).

A soja é considerada uma fonte de proteína completa, isto é, contém quantidades significativas de todos os aminoácidos essenciais que devem ser providos ao corpo humano por meio de fontes externas, por causa de sua inabilidade para sintetizá-los.

2.2 Fontes de silício

O silício ocupa cerca de 27% em massa da crosta terrestre e é importante na formação dos solos. A maior parte do silício ocorre como forma insolúvel, tais como o quartzo, feldspato, mica e augita. Entre esses minerais, o feldspato é que sofre um processo de intemperização mais acelerado, sendo a principal fonte de silício disponível para as plantas na solução do solo, na forma de ácido silícico (H_4SiO_4). As fontes de silício comercialmente utilizadas na agricultura são os metassilicatos de sódio e de potássio (preferidos em cultivos hidropônicos e aplicações foliares, devido à alta solubilidade) e ácido silícico.

Um número grande de materiais tem sido utilizado como fonte de Si para as plantas: escórias de siderurgia, Wollastonita, subprodutos (escórias) da

produção de P elementar em fornos elétricos, metassilicato de cálcio, metassilicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio, silicato de cálcio, etc. As escórias básicas de siderurgia (silicatos de cálcio e magnésio), livres de metais pesados, constituem excelentes fontes de silício a baixo custo e, muitas vezes, localizadas de forma estratégica para microrregiões agrícolas, com ênfase para o possível uso como corretivos do solo, devido à sua basicidade (Korndörfer & Datnoff, 1995; Piau, 1995). Anderson et al. (1992) citam que as escórias silicatadas apresentam baixa solubilidade em pH elevado, porém, tem valor neutralizante em solos ácidos, podendo ser utilizadas como corretivo em longo prazo. A wollastonita (silicato de cálcio natural) é freqüentemente empregada em trabalhos de pesquisa que envolvem silício, por ser livre de contaminantes, como o ferro e o fósforo (Rodrigues, 2000).

As principais formas de Si presentes no solo, do ponto de vista agrônômico, são: os minerais silicatados (cristalinos e amorfos); o Si solúvel (H_4SiO_4), que desprovido de carga elétrica tem interessantes conseqüências no comportamento do Si com relação aos vegetais; o Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio.

O ácido silícico é a única forma disponível de silício para as plantas; porém, diversos fatores podem influenciar os seus teores no solo (Reis et al., 2007). Os principais fatores que aumentam a disponibilidade de silício no solo são: adição de fertilizantes silicatados, água de irrigação, dissolução de ácido silícico polimérico, liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não-cristalinos e decomposição de resíduos vegetais. Os principais drenos são: absorção pelas plantas, formação de polímeros de silício, lixiviação, formação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e formação de minerais cristalinos (Savant et al., 1999).

Solos tropicais e subtropicais, sujeitos à intemperização com os cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, podendo ser de 5 a

10 vezes menores que os encontrados nos solos das regiões temperadas (Mc Keague & Cline, 1963; Foy, 1992). É o caso de regiões agrícolas importantes, como o Centro-Oeste brasileiro (cerrado), pobre em silício devido à dessilificação, que consiste na remoção do silício durante a meteorização das rochas. Esses solos, normalmente, apresentam baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de P, além de uma atividade microbiana reduzida.

2.3 Uso de silício e aproveitamento de fósforo

Tem sido demonstrado que a presença de silício pode aumentar o aproveitamento de fósforo (P) pelas plantas, principalmente em solos muito intemperizados (Volkweiss & Raij, 1976; Sanchez & Uehara, 1980). São conhecidos os benefícios dos silicatos para o aproveitamento de P, a relação entre Si solúvel em água e P disponível e as correlações entre Si adicionado, como silicato, P disponível e acumulado na planta (Sanchez & Uehara, 1980).

A utilização de silicatos como fertilizantes (silicato de cálcio das escórias de siderurgia, do silicato de magnésio, das fontes comerciais como termofosfato magnésiano) favorece o aproveitamento de P em solos ácidos. Isso ocorre pelo efeito indireto do aumento do pH e pelo bloqueamento dos sítios de adsorção ou pela redução da adsorção do fosfato com a utilização de silicato, pois há evidências de que competem pelo mesmo sítio de adsorção (Savant et al., 1999). A competição entre silício e fósforo é um assunto pesquisado, no entanto, há poucos trabalhos realizados sobre o aumento da disponibilidade de fósforo pelo uso de silicato e vice-versa, tais como os de Leite (1997), Carvalho (1999). O efeito do silicato no aumento da disponibilidade de fósforo decorre mais pelo aumento do pH do que pela dessorção de fósforo, que não foi observada em vários trabalhos (Ma & Takahashi, 1990a;b; Ma & Takahashi, 1991).

2.4 Benefícios do silício

Há vários trabalhos nos quais pesquisou-se a redução dos efeitos tóxicos de ferro, manganês e alumínio com a utilização de silício no solo e em solução nutritiva (Galvez et al., 1987; Horiguchi, 1988; Ma & Takahashi, 1990ab; Ma & Takahashi, 1991). Alguns autores têm sugerido que o fornecimento de Si às plantas pode aliviar a toxidez de Mn e Fe não somente pela redução na sua absorção, mas também porque aumenta o nível de tolerância interna ao excesso de Mn nos tecidos (Ma & Takahashi, 1990a;b; Ma & Takahashi, 1991; Savant et al., 1999). Cientistas japoneses explicam que devido à alta capacidade de oxidação da sílica, o Fe e Mn tóxicos reduzem a sua disponibilidade no solo. O Si aumenta o poder oxidante das raízes de arroz, favorecendo a oxidação e a deposição (precipitação) do Fe na superfície das raízes, diminuindo a sua absorção pela planta e seu efeito tóxico.

Os efeitos benéficos do Si têm sido demonstrados em várias espécies vegetais, especialmente quando essas plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico (Faria, 2000; Datnoff et al., 2001). Quanto à absorção de silício, Miyake & Takahashi (1985) caracterizaram as plantas em três tipos: acumuladoras, com teor elevado de Si na matéria seca, sendo a absorção ligada à respiração aeróbia (o arroz é o exemplo típico desse grupo de plantas); não-acumuladoras, caracterizadas por um baixo teor de Si, mesmo com altos níveis desse elemento no meio, indicando um provável mecanismo de exclusão; intermediárias, as quais apresentam quantidade considerável de Si, quando a concentração do elemento é alta. As cucurbitáceas e a soja enquadram-se nesse grupo, pois translocam o silício livremente das raízes para a parte aérea.

Gramíneas, em geral, são classificadas como acumuladoras de Si e os depósitos desse elemento são encontrados nas paredes celulares, no lúmen

celular e em localizações extracelulares. A maior parte desse Si é incorporada nas células da parede celular, principalmente nas células da epiderme, estômatos e tricomas das folhas, ou depositada, juntamente com outros elementos, originando depósitos amorfos chamados de fitólitos (Yoshida, 1965).

O Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal por meio da formação de folhas mais eretas, com a conseqüente diminuição do auto-sombreamento; através da redução do acamamento; pela maior rigidez estrutural dos tecidos; pela proteção contra estresses abióticos, tais como amenização da toxidez de Fe, Mn, Al e Na; pelo aumento da tolerância ao estresse hídrico e à geada; pela proteção contra estresses bióticos, tais como a redução do ataque de patógenos (doenças) e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (Epstein, 1994; Marschner, 1995).

O silício aumenta a rigidez das células (Adatia & Besford, 1986). As células epidérmicas ficam mais grossas e com um maior grau de lignificação e/ou silicificação (barreira mecânica). Isso poderia elevar o conteúdo de hemicelulose e lignina da parede celular (Lee et al., 1990). O acúmulo e a deposição de Si nas células da camada epidérmica constituem uma barreira física à penetração de patógenos e ao ataque de pragas (Marschner, 1995).

Além de estar envolvida em processos fisiológicos essenciais de diversas espécies vegetais, a adubação silicatada pode contribuir para a resistência a diversas doenças. Resultados promissores foram encontrados em vários patossistemas. Cita-se a redução na intensidade da brusone, mancha-parda e queima das bainhas em plantas de arroz; menor incidência de oídio em plantas de soja e gomose em citrus, quando essas culturas foram adubadas com Si (Samuels et al., 1994; Lima, 1998; Rodrigues, 2000).

2.5 Silício na cultura da soja

Segundo Miyake & Takahashi (1985), na soja, a deficiência de silício causa sintomas característicos, como a má formação de folhas e a redução da fertilidade do grão-de-pólen. Em condições hidropônicas, cultivaram-se plantas de soja em solução com 100 mg L^{-1} de Si, mostrando incrementos de aproximadamente 20% em relação à testemunha sem Si. Estudaram-se também aveia e trigo. Na aveia, foram observados aumentos significativos nas biomassas de panículas e de grãos. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas para biomassa vegetal.

Outros estudos com Si realizados em soja estão principalmente relacionados com algumas doenças e pragas. Lima (1998) observou que o aumento da resistência da soja ao cancro-da-haste pode ser induzido, em condições de hidroponia, mediante o incremento do teor de Si. Verificou também que ocorrem diferenças varietais significativas em relação à absorção de Si por plantas de soja. Juliatti et al. (1996) verificaram a redução da infecção por cancro-da-haste em diferentes cultivares de soja, pela aplicação de wollastonita via solo. Pulverizações em plantas de soja com silicato de potássio, mistura de silicato com fungicida protetor (mancozeb) e mistura de silicato com fungicida sistêmico (epoxiconazole + piraclostrobin) reduziram a severidade da ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em 34%, 76% e 83,3%, respectivamente (Nascimento et al., 2005). Lima (2006) verificou a redução em 24,5% da severidade da ferrugem da soja em plantas supridas com silicato de potássio, bem como o aumento do conteúdo de clorofila b e carotenóides, do teor de lignina das folhas, observando também a camada de cera epicuticular mais desenvolvida. Ferreira (2006) observou comportamento diferente de cultivares de soja com a aplicação de Si em vasos; na cultivar IAC-19, houve aumento do grau de resistência à mosca-branca (*Bemisia tabaci*) biótipo B, ocorrendo também a potencialização da produção de nitrogênio não-protéico em plantas de

soja associada à mesma cultivar. Nolla et al. (2004) observaram que a aplicação de silicato aumentou a concentração de Si foliar em soja.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Milanez, situada no município de Itutinga no Estado de Minas Gerais, Brasil, na latitude de 21°23'29,8"S, longitude de 44°39'13,2" e altitude média de 958 m. O solo utilizado foi classificado com do tipo Cambissol, com textura argilosa, com as seguintes características químicas, apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 Características químicas do solo amostrado da área experimental. UFLA, 2007.

H₂O	mg dm⁻³		cmol dm⁻³						
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T
5,5	2,5	145	2,6	0,7	0	3,2	3,7	3,7	6,9
dag kg⁻¹	mg L⁻¹	mg dm⁻³						%	
MO	P rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	V	
3,4	7,5	1,0	45,4	9,7	4,4	0,2	42,5	53,4	

Análise de solo realizada no Instituto de Química "John Wheelock" do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

O clima da região é classificado segundo Köppen como do tipo Cwa, temperado úmido (com verão quente e inverno seco), caracterizado por um total

de chuvas de 23,4 mm no mês mais seco e de 295,8 mm no mês mais chuvoso. A temperatura média é de 22,1°C no mês mais quente e de 15,8°C no mês mais frio, sendo a precipitação média anual de 1529,7 mm (Brasil, 1992).

Os dados climatológicos obtidos para a região e o período de condução do ensaio estão apresentados na Figura 1.

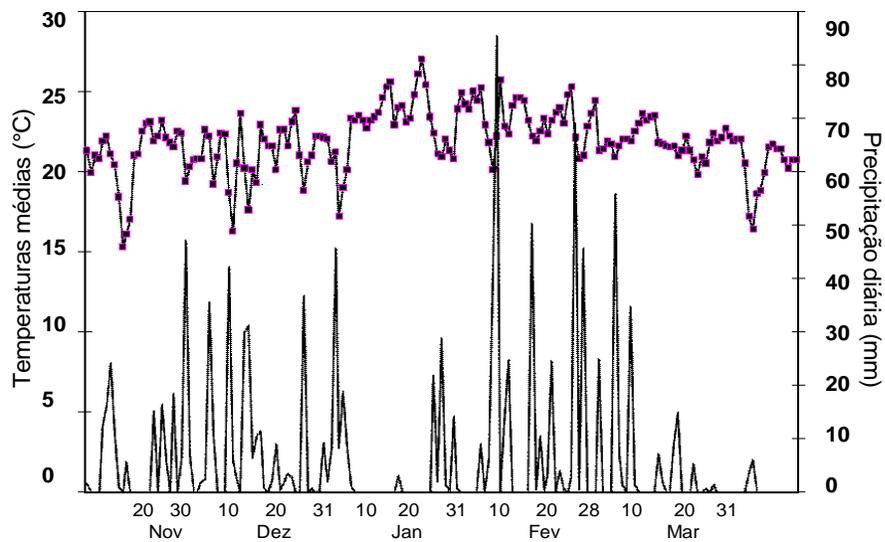


FIGURA 1 Variação diária da temperatura média do ar e pluviosidade de novembro de 2005 a março de 2006, UFLA, Lavras (MG)– (Fonte: Estação Climatológica de Lavras – MG).

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com três repetições, tendo como tratamentos onze doses silício aplicados no sulco de plantio por ocasião da semeadura da soja, conforme a Tabela 2.

TABELA 2 Tratamentos com doses de silício na semeadura da soja. UFLA, 2007.

Tratamentos	Silício (kg ha ⁻¹)
1	0
2	50
3	100
4	150
5	200
6	250
7	300
8	350
9	400
10	450
11	500

3.3 Instalação e condução do experimento

O presente trabalho foi conduzido em solo corrigido com dois anos de cultivo, sendo considerado solo de média a alta fertilidade, o que pode ser observado na Tabela 1. Foi utilizado plantio convencional, sendo necessárias para preparo do solo uma aração e duas gradagens. A adubação de semeadura foi realizada de acordo com a análise de solo e as interpretações de acordo com Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999), utilizando-

se 120 kg de P_2O_5 juntamente com 60 kg de K_2O ha^{-1} nas formas de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

A cultivar utilizada foi a BRS MG 68 (Vencedora) devido ao seu alto potencial produtivo no cenário da sojicultura nacional e do Estado de Minas Gerais. Essa cultivar pertence ao grupo de maturação médio (130 a 140 dias), é exigente em fertilidade de solo, apresenta crescimento determinado, hilo de cor preta, pubescência marrom e resistente ao acamamento. Em trabalhos anteriores, essa cultivar foi destaque, com produtividade de 4.395 $kg\ ha^{-1}$, conforme relatam Rezende & Carvalho (2007).

As parcelas no campo foram constituídas de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m totalizando $10,0\ m^2$. Como área útil, foram utilizadas as duas fileiras centrais, retirando-se ainda 0,50 m de cada extremidade, a título de bordadura, correspondendo a $4,0\ m^2$.

As sementes de soja foram inoculadas antes da semeadura com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se o inoculante Nitral na concentração mínima de 1.200.000 de bactérias por sementes. A semeadura foi realizada no dia 5/12/2005, no início do período chuvoso do ano agrícola 2005/2006. Verificou-se uma emergência uniforme e vigorosa cerca de cinco dias após a semeadura. Aos quinze dias após a emergência, foi realizado um desbaste uniformizando o estande inicial em 15 plantas por metro linear, de acordo com Rezende et al. (1981), buscando-se uma população ideal de 300.000 plantas por hectare, semeadas à profundidade de 2 a 3 cm. Em fevereiro de 2006, foi utilizado o produto comercial FICAM® (Bendiocarb) para controle de pragas, tendo-se verificado alto nível de vaquinhas (*Diabrotica speciosa*). Fez-se necessária a utilização de fungicida para controle da ferrugem-asiática e complexo de doenças do final de ciclo. Utilizou-se apenas uma aplicação do fungicida Ópera® na dose de $0.5L\ ha^{-1}$. O controle das plantas invasoras foi realizado por meio de capina manual, a fim de evitar mato competição.

A colheita foi realizada manualmente quando 95% dos legumes atingiram a coloração característica de legumes maduros, no estágio R8. Após a colheita, as sementes foram trilhadas e acondicionadas em sacos de papel, realizando-se posteriormente a determinação da produtividade, em seguida, a pesagem de mil sementes, calculada conforme as regras de análises de sementes no RAS (Brasil, 1992).

3.4 Características avaliadas

Na ocasião da colheita, foram avaliadas nas áreas úteis de todas as parcelas as seguintes características:

- rendimento de grãos (corrigida a umidade dos grãos para 13%) e, posteriormente, transformados para kg ha^{-1} ;
- altura da planta;
- inserção do 1º legume (expressos em cm);

Essas duas últimas características citadas acima foram determinadas em cada parcela, tomando 10 plantas das fileiras úteis aleatoriamente.

- número de legumes por planta;
- número de sementes por legume;
- peso de mil sementes;

Essas três últimas características foram avaliadas mediante a contagem de cinco plantas tomadas ao acaso, nas duas linhas centrais úteis de cada parcela.

3.5 Aplicação e características do silício utilizado

A fonte de silício utilizado foi o Extragan-silício-plus GR, fornecido pela Extrativa Fertilizantes S/A, com 25% de SiO_2 , aplicado no sulco da semeadura misturado aos adubos superfosfato simples e cloreto de potássio.

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos nas diferentes avaliações foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos, quando significativos, foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se para a análise de variância o programa software estatístico Sisvar® (Ferreira, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade, peso de 1000 sementes e número de sementes por legume

O resultado da análise de variância para a produtividade (PRT), peso de 1000 sementes (PMS), e número de sementes por legume (NSL) estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 Análise de variância para as características produtividade (PRT), peso de 1000 sementes (PMS) e número de sementes por legume (NSL) obtidas no ensaio doses de silício, UFLA, 2007.

Quadrados médios				
FV	GL	PRT	PMS	NSL
Blocos	2	112175,4848 ^{ns}	26,3030 ^{ns}	0,0017 ^{ns}
Tratamentos	10	127847,6545 ^{ns}	22,8242 ^{ns}	0,0245 ^{ns}
Erro	20	56353,5181	16,3696	0,0107
CV (%)		7,43	2,67	4,56
Média		3197	151	2,27

^{ns} Não significativo, * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

Pela Tabela 3, de análise de variâncias, verifica-se que não ocorreu diferença estatística para as características citadas acima em função dos tratamentos avaliados.

Ao observar os dados, verifica-se que esses apresentaram uma variação de produtividade de 2923 a 3617 kg ha⁻¹. Em relação ao peso de 1000 sementes

e o número de sementes por legume, as variações observadas encontram-se no intervalo de 146 a 155g e 2,07 a 2,51, respectivamente, estão dentro da normalidade da cultura (Tabela 4).

TABELA 4 Resultados médios para produtividade (PRT), peso de 1000 sementes (PMS), número de sementes por legume (NSL) obtidos no ensaio de doses de silício, UFLA, 2007.

Tratamentos	PRT (kg ha⁻¹)	PMS (g)	NSL
0	2931 a	153 a	2,38 a
50	2923 a	151 a	2,37 a
100	3311 a	150 a	2,51 a
150	3089 a	153 a	2,45 a
200	3173 a	153 a	2,19 a
250	3246 a	155 a	2,22 a
300	3201 a	147 a	2,28 a
350	3292 a	146 a	2,33 a
400	3008 a	155 a	2,15 a
450	3376 a	152 a	2,07 a
500	3617 a	152 a	2,16 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Considerando a média nacional da safra 2005/06, que foi de 2419 kg ha⁻¹, constata-se que todos os tratamentos, inclusive a testemunha, dose 0,

superaram essa média. No caso da testemunha, o aumento da produtividade foi de 21,16% (512 kg ha⁻¹) em relação à média brasileira. Quando se compara a produtividade média dos tratamentos adubados com silício (3.224 kg ha⁻¹), com a média nacional (2.419 kg ha⁻¹), verifica-se um aumento 33,27% (805 kg ha⁻¹), comprovando que a região é propícia para o cultivo da soja.

Em trabalhos realizados por Rezende & Carvalho (2007), utilizando cultivares de soja nessa mesma região, obtiveram-se resultados até mais expressivos. No ensaio relatado, obtiveram produtividades que variaram de 2081 a 4.395 kg ha⁻¹, com destaque para as cultivares BRS MG 68, Paiaguás e AV 2056-7, que proporcionaram rendimentos de 4395, 3898 e 3780 kg ha⁻¹, respectivamente.

Embora as aplicações de silício não tenham apresentado aumentos significativos, verifica-se que a média dos tratamentos adubados (3.197 kg ha⁻¹) superaram a testemunha em 10% (293 kg ha⁻¹). No caso da soja, a influência do silício no seu desenvolvimento é pouco conhecida até o presente momento, fato que não ocorre com as gramíneas. De acordo com Raij & Camargo (1973), resultados positivos com a aplicação desse elemento são comumente observados em plantas acumuladoras de Si, como ocorre com a maioria das gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, milho, entre outros).

Outro aspecto importante refere-se ao fato de o silício estar envolvido em processos fisiológicos essenciais de diversas espécies vegetais, conferindo às plantas resistência a diversas doenças e pragas.

No caso específico da soja, sendo considerada uma planta intermediária no acúmulo de silício, as respostas à aplicação desse elemento são mais difíceis de serem observadas. Nessa situação, as alterações de metodologia de colocação desse elemento à disposição da planta, como aumento de dose, forma de aplicação (sulco, cobertura e adubação foliar), poderiam constituir-se em uma nova alternativa de fornecimento desse elemento às plantas.

Por sua vez, Marschner (1995) concluiu que a absorção e distribuição radial de Si através das raízes da soja para os vasos do xilema são mais restritas a altas concentrações de Si, indicando um mecanismo efetivo de exclusão.

Outros pesquisadores têm comprovado a ausência de resposta do Si em outras culturas. Pereira et al. (2003) observaram um maior teor de silício em plantas de tomateiro; no entanto, esse aumento não foi capaz de ser traduzido em aumento de produtividade. Lana et al. (2003) apesar de observarem uma relação direta entre o aumento nas doses de silicato de cálcio e o acúmulo de Si no solo ou foliar, não verificaram respostas das doses crescentes de silicato de cálcio na produtividade da cultura do tomateiro. Franzot et al. (2005), com o objetivo de avaliar, em casa-de-vegetação, o crescimento e a produção de grãos de feijoeiro comum, submetido a doses de Si aplicadas via foliar, observaram que, para as doses empregadas, que variam de 0 a 17,00 ppm, não ocorreu efeito significativo para as características, como a produtividade.

4.2 Número de legume por planta, altura da planta e inserção de 1º legume

O resultado da análise de variância para a número de legume por planta (NLP), altura de planta (AP) e altura de inserção do primeiro legume (AIL) estão apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 Análise de variância para as características número de legume por planta (NLP), altura das plantas (AP), e da inserção do primeiro legume (AIL) obtidos no ensaio doses de silício. UFLA, 2007.

Quadrado médios				
FV	GL	NLP	AP	AIL
Blocos	2	229,93 ^{ns}	6,63 ^{ns}	83,1212 ^{**}
Tratamentos	10	359,66 ^{**}	81,75 ^{**}	31,6545 ^{**}
Erro	20	73,53	11,50	8,6545
CV (%)		16,28	3,94	14,43
Média		53	86	20

^{ns} Não significativo, *, ** significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

Verifica-se na Tabela 5 de análise de variância que as características (altura, inserção e número de legume por planta) foram alteradas significativamente em função dos tratamentos utilizados.

Com base nas médias na Tabela 6, verifica-se que ocorreu uma variação de 39 a 75, 80 a 96 cm e de 15 a 24 cm para as características número de legume por planta, altura de planta e altura de inserção do primeiro legume, respectivamente. O número de legumes por planta, que é um importante componente da produtividade da soja, foi aumentado significativamente com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de silicato. Esses resultados são considerados satisfatórios, levando-se em conta as produtividades alcançadas, embora essas características não tenham contribuído muito para se obter resultados significativos na produtividade.

Em relação à altura da planta e da inserção do 1º legume, verifica-se que essas características apresentaram-se dentro dos padrões normais para a colheita mecânica. A inserção do 1º legume, que apresentou menor altura, com média de 15 cm, ainda assim permite a colheita de forma eficiente.

Pode-se ressaltar que a variação na altura das plantas de 80 a 96 cm, que corresponde, respectivamente, à testemunha e à dose de 450 kg ha⁻¹ de silício obtidas no ensaio, indica que não ocorreu nenhum efeito fitotóxico em função dos tratamentos utilizados e, sim, um aumento de 20% (16 cm).

TABELA 6 Resultados médios das características número de legumes por planta (NLP), altura das plantas (AP), altura de inserção do primeiro legume (AIL) obtidos no ensaio de doses de silício, UFLA, 2007.

Tratamentos (kg Si ha⁻¹)	N LEGUME	ALTURA (cm)	INSERÇÃO (cm)
0	62 ab	80 c	15 c
50	46 b	82 c	16 bc
100	52 ab	83 c	17 abc
150	57 ab	83 c	19 abc
200	75 a	83 c	21 abc
250	59 ab	83 c	23 abc
300	41 b	84 bc	24 a
350	41 b	88 abc	24 ab
400	56 ab	91 abc	21 abc
450	39 b	96 a	22 abc
500	51 ab	94 ab	22 abc

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

5 CONCLUSÕES

- As doses de silício não proporcionaram aumentos significativos na produtividade de grãos, peso de mil sementes, número de sementes por legume.
- Com o aumento das doses, verifica-se aumento significativo no número de legumes por planta, altura de plantas e altura de inserção do primeiro legume.
- A aplicação de silício no intervalo das doses testadas não proporcionou efeitos fitotóxicos na planta de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADATIA, M.H.; BESFORD, A.T. The effects of silicon on cucumber plants grow in recirculating nutrient solution. **Annals Botanical**, London, v.58, n.3, p. 343-351, 1986.
- ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H.; WARREN, J.D. Availability of phosphorus in calcium silicate slag. **Com. in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 9-10, p. 907-918, 1992
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNPV/CLAV, 1992. 365p.
- CARVALHO, R. **Interações silício-fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro e Cambissolo cultivados com mudas de eucalipto**. 1999. 89p. Tese (Doutorado em Solos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Indicadores da Agropecuária**, v.16, n.7, p.8-29, jul. 2007.
- DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. **Silicon in agriculture**. New York: [s.n.], 2001. 403 p.
- ELAWAD, S.H.; GREEN, Jr. V.E. Silicon and rice plant environment: a review of recent research. **Revista Il Riso**, v.28, p.235-253, 1979.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academic Science**, Fort Lauderdale, v.91, p.11-17, 1994.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.
- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa.. Departamento de Solos, Viçosa, MG.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ. **Boletim Informativo**, 2006. n.940.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0 In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 2000, São Carlos. **Resumos...** São Carlos: RBRAS/UFSCar, 2000. p.255-258.

FERREIRA, R.S. **Influência do silício na indução de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) e no desenvolvimento vegetativo em dois cultivares de soja *Glycine max* (L.) Merrill.** 2006. 40p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, v.19, p.97, 149, 1992.

FRANZOT, B.P.; SILVEIRA, L.S.M. da; ANDRADE, M.J.B. de; VIEIRA, N.M.B.; SILVA, V.M.P.; CARVALHO, J.G. de. Aplicação foliar de silício em feijoeiro comum. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2005. p. 957-960.

GALVEZ, L.; CLARK, R.B.L GOURLEY, LM.; MARANVILLE, J.W. Silicon interactions with manganese and aluminium toxicity in sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, v.10, p.1139-1147, 1987.

HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. VI. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. **Soil Science Plant Nutrition**, v.34, n.1, p.65-73, 1988.

JULIATTI, F.C.; RODRIGUES, F.A.; KORNDÖRFER, G.H., SILVA, O.A.; CORRÊA, G.F.; 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**, New York, v. 21, p.51, 1996. Suplemento.

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v.70, p.1-5, jun. 1995.

LANA, R.M.Q.; KORNDÖRFER, G.H.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; SILVA, A.F.; LANA, A.M.Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n.2, p.15-20, 2003.

LEE, T.S.; KWON, T.O.; PARK, K.H. Influence of nitrogen and silicon on the yield and the lodging related traits of paddy rice. **Soil and Fertility**, v.32, p.15-23, 1990.

LEITE, P.C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado em casa-de-vegetação**. Viçosa, 1997. 87 p. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LIMA, L.M. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow)**. 2006. 81p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LIMA, M.T.G. **Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. Sp. meridionalis), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja (*Glycine Max* (L) Merrill)**. 1998. 58p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, v.126, p.115-119, 1990a.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicic acid on rice in P-deficient soil. **Plant and Soil**, v.126, p.121, 125, 1990b.

MA, J.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P-deficient soil. **Plant and Soil**, v.133, n.2, p.151-155, 1991.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2^{ed}. New York: Academic, 1995. 887 p.

MC KEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soils. **Advances in Agronomy**, v. 15, 339-397, 1963.

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

NASCIMENTO, J.F.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H.S.S.; RODRIGUES, F. A.

Effect of potassium silicate combine or not with systemic or protector fungicides on the control of asian soybean rust. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 121.

NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; ARRUDA, D.G. Acumulação de silício na soja sob diferentes níveis de calcário e silicato. In: SIMPÓSIO CIENTÍFICO DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 1., 2004, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, UFU: 2004.

PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDÖRFER, G.H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.101-108, 2003.

PIAU, W.C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químico de solos na cultura do milho (*Zea mays* L)**. 1995. 124p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

RAIJ, B.V.; CAMARGO, O.A. Silica solúvel em solos. **Bragantia**, v.32, n.11, p.223-236, 1973.

REIS, T.H.P.; GUIMARÃES, P.T.G.; FIGUEIREDO, F.C.; POZZA, A.A.A.; NOGUEIRA, F.D.; RODRIGUES, C.R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 124p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 82).

REZENDE, P.M. de; BUENO, L.C. de; SEDIVAMA, T.; JUNQUEIRA NETTO, A.; LIMA, L. A. de P.; FRAGA, A. C. Épocas de desbaste em experimentos com soja (*Glycine max* L. Merrill) em diferentes densidades de semeadura. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., 1981, Brasília. **Anais...** Londrina: EMBRAPA/CNPSoja, 1981. p. 14.

REZENDE, P.M. de; CARVALHO, E.A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n. 6, p. 1616-1623, nov./dez. 2007.

RODRIGUES, F.A. **Fertilização silicatada na severidade da queima das bainhas (*Rizoctonia solani*) do arroz**. 2000. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitopatologia, Viçosa, MG.

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**, v. 44, p. 237-242, 1994.

SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.S. (Ed.). **The Role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA, 1980. p.471-514.

SAVANT, N.K.; KORNDORFER, G.H.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, n.12, p.1853-1903, 1999.

SILVA, J.A. **Plant, mineral nutrition: yearbook of science and technology**. [S.l.]: McGraw- Hill Book, 1973.

VOLKWEISS, S.J.; RAIJ, B. van Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1976, Brasília. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1977. p.317-332.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agriculture Science**, v. 15, p. 1-58, 1965.