

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**ESTER GONÇALVES DA PAZ**

**APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CARBONATO E SILICATO SOBRE  
ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DA SOJA CULTIVADA  
SOBRE PALHADA DE CANA**

**Uberlândia  
Novembro – 2008**

**ESTER GONÇALVES DA PAZ**

**APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CARBONATO E SILICATO SOBRE  
ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DA SOJA CULTIVADA  
SOBRE PALHADA DE CANA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao curso de Agronomia, da Universidade  
Federal de Uberlândia, para obtenção do  
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Lísias Coelho

Co-orientador: Carlos Ribeiro Rodrigues

**Uberlândia – MG  
Novembro - 2008**

**ESTER GONÇALVES DA PAZ**

**APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CARBONATO E SILICATO SOBRE  
ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E CRESCIMENTO DA SOJA CULTIVADA  
SOBRE PALHADA DE CANA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao curso de Agronomia, da Universidade  
Federal de Uberlândia, para obtenção do  
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 26 de novembro de 2008

Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues  
Co-orientador

Eng. Agr. Ana Paula dos Santos  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Lísias Coelho  
Orientador

## **DEDICATÓRIA**

À minha mãe Libna e ao meu pai Josias.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, aos meus pais pela oportunidade de fazer o curso de Agronomia na Universidade Federal de Uberlândia, à minha querida irmã Josiane pelo apoio, aos Professores Lísias e Carlos, ao Pablo por sempre estar ao meu lado, à minha amiga Thaís (Xará). Aos outros familiares e amigos por sempre me apoiarem.

Obrigada!

## RESUMO

O plantio da soja em áreas de renovação de canaviais consolidou-se como uma prática conservacionista e rentável. A atividade consiste em fazer a semeadura direta sobre a palhada de cana-de-açúcar sem a necessidade de movimentação do solo. Estudos realizados com silício (Si) demonstram o efeito benéfico de sua aplicação no aumento de produção de diversas culturas, além de proporcionar resistência ao acamamento e maior tolerância ao déficit hídrico, principalmente para a cultura da cana-de-açúcar. Os agregados siderúrgicos são fontes de Si, constituídos principalmente de silicato de cálcio e magnésio – os quais se comportam de maneira similar aos carbonatos no solo e, portanto, podem ser utilizados como corretivos de solo a baixo custo. Sob tais considerações, o presente trabalho teve como objetivo analisar os efeitos de doses de calcário e silicato sobre os atributos químicos da superfície e profundidade do solo, na produção da cultura da soja sobre palhada de cana-de-açúcar. O experimento foi realizado em área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia/MG. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial  $2 \times 5 + 1$ , sendo duas fontes de corretivo (Carbonato de Cálcio e Silicato de Cálcio), cinco doses de cada fonte (0, 1.500, 3.000, 6.000 e 12.000 kg ha<sup>-1</sup>), e também um tratamento adicional sem aplicação de corretivo e sem palha de cana, sob intuito de verificar a atuação da palhada em Neossolo Quartzarênico órtico típico. As doses crescentes de ambos os corretivos proporcionaram aumento de produção de matéria seca de folha (MSF), caule (MSC) e parte aérea total (MST) da soja, sendo, para Carbonato e Silicato, respectivamente, a máxima produção de MSF obtida com 7500 e 7000 kg ha<sup>-1</sup>, de MSC obtida com 7500 e 10000 kg ha<sup>-1</sup> e de MST obtida com 6875 e 7143 kg ha<sup>-1</sup>. A soja cultivada sem aplicação de corretivo apresentou maior crescimento no tratamento com a palhada da cana em relação ao tratamento sem palhada.

Palavras-chave: Cerrado, Silício, Palhada.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Acidez do solo e calagem.....	11
2.2 Comportamento de silicatos como corretivo de acidez.....	12
2.3 Efeito da palha de cana-de-açúcar sobre os atributos químicos do solo.....	15
2.4 Silício no solo.....	16
2.5 Silício na planta .....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Crescimento e Si na planta .....	25
4.2 pH, Si, Ca, Mg e Al trocáveis no solo.....	29
5 CONCLUSÕES .....	39
REFERÊNCIAS .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das mais importantes oleaginosas cultivadas no mundo. Possui alto teor em proteínas sendo fundamental na alimentação animal e humana, além de seus subprodutos oferecer uma grande diversidade de uso, como o biocombustível. O plantio da soja em áreas de renovação de canaviais já mostrou ser uma prática conservacionista e rentável. Com o aumento das áreas de cana-de-açúcar colhidas sem queima (cana crua), uma alternativa viável para o período de renovação dos canaviais é o cultivo da soja em semeadura direta.

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar trouxe inúmeros benefícios de logística e de meio ambiente. No entanto, proporciona inúmeras alterações biológicas e químicas no solo que influenciam no manejo da correção, calagem e/ou silicatagem. Nesse sentido, existem na literatura inúmeros relatos em relação à prática de correção do solo com aplicação em superfície em áreas sobre sistema de plantio direto relatando influência dos resíduos vegetais no aumento da eficiência dos corretivos. Todavia, essa prática em áreas com corte mecanizado de cana pode apresentar diferenças em relação à dos sistemas de plantio direto, pois, em áreas de cana há monocultura e de plantio direto há rotação de culturas. Como na monocultura há deposição de palhada de mesmas características química proporciona menor diversidade e resiliência de processos bioquímicos no solo, em relação aos sistemas de plantio direto onde há rotação de culturas e diversidade na composição química dos resíduos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo os mesmos autores, as características da palhada podem influenciar diretamente na dinâmica dos compostos oriundos de sua decomposição e consequentemente na dinâmica dos nutrientes.

O álcool da cana-de-açúcar é o principal biocombustível, sendo o Brasil o maior produtor mundial, em uma área de cinco milhões de hectares. Assim, a expansão da cana-de-açúcar em áreas sob ecossistema cerrado está aumentando rapidamente, mesmo possuindo algumas particularidades, tais como: concentração de chuvas com escassez durante oito meses do ano, solos altamente intemperizados e dessilicizados, ácidos, com alta saturação por alumínio e baixa saturação por bases.

O sistema de produção da cana de açúcar, desde o final da década de 1970, é preconizado por ocasião da renovação dos canaviais com cultivo de culturas de espécies leguminosas, cujo objetivo é gerar receitas e, consequentemente, proporcionar os benefícios da rotação de culturas, que são fornecimento de nitrogênio, melhorar as características físicas



e biológicas do solo e reduzir a população de patógenos, nematóides e outras pragas (REVISTA PLANTIO DIRETO, 2008).

O rodízio da soja com a cana pode ser feito porque as duas culturas têm ciclos bem definidos, o que não prejudica nenhuma das plantações, mesmo que sejam em um mesmo espaço (ETHANOL BRASIL, 2008).

Várias classes de solos da região central do Brasil (áreas de cerrado) são pobres em Si solúvel (disponível para as plantas) nos horizontes superiores (RAIJ; CAMARGO, 1973). Nestas condições pode se esperar resposta para aplicação de Si na forma de fertilizantes principalmente quando aplicado em plantas acumuladoras de Si como é o caso da cana-de-açúcar. No caso da soja, esta é considerada uma planta intermediária em relação ao acúmulo de Si, apresentando teores foliares aproximadamente iguais a  $0,3 \text{ dag kg}^{-1}$  (MARSCHNER, 1995; KORNDORFER et al., 2004; EPSTEIN; BLOOM, 2006; KORNDÖRFER, 2006).

O silício (Si) é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre, estando logo após o oxigênio. Diversos estudos têm demonstrado os efeitos benéficos do silício para muitas culturas.

Em sistemas de plantio direto a correção do solo em superfície tem demonstrado eficiência em vários relatos na literatura (SÁ, 1995; SANTOS, 1995; OLIVEIRA, PAVAN, 1996). Franchini et al (1999a) e Franchini et al. (1999b) relatam que os produtos oriundos da decomposição dos resíduos vegetais apresentam no solo resultados semelhantes aos dos corretivos, como redução da acidez ativa e trocável. Os autores ainda relatam que os compostos oriundos da decomposição dos resíduos orgânicos podem formar complexos com o alumínio (Al) reduzindo sua atividade na solução do solo, aumentando o fator capacidade de cátions no solo. Os efeitos dos resíduos vegetais sobre a acidez do solo e a dinâmica de bases são influenciados pela constituição química. Franchini et al (1999b), avaliando o efeito de extratos de resíduos vegetais de diferentes plantas de cobertura na movimentação de cátions em profundidade através de colunas de lixiviação relataram que o extrato de aveia-preta foi mais efetivo na movimentação do Ca e os de nabo forrageira na movimentação de Al, e em ambos as situações houve aumento nos teores trocáveis de K. O efeito da matéria orgânica na dinâmica de cátions é atribuído à formação de complexos das bases, Ca, Mg e Al, com compostos orgânicos de baixo peso molecular, oriundo da decomposição dos resíduos vegetais (PAVAN, 1994; OLIVEIRA; PAVAN, 1996; FRANCHINI et al, 1999b). De maneira geral a intensidade do efeito dos resíduos vegetais sobre a dinâmica de bases no solo é atribuída às características químicas de cada resíduo. Os resíduos de leguminosas proporcionam maior aumento de pH e neutralização do Al no solo em comparação com os

resíduos de gramíneas, sendo esse efeito atribuído aos teores de cátions básicos no material vegetal (HUE; AMIEN, 1989; BESSHO; BELL, 1992; MIYAZAWA et al., 1993).

O calcário é o principal corretivo encontrado no mercado e com uso amplo na agricultura. No entanto, os silicatos, oriundo de resíduos de siderurgia apresentam o mesmo efeito corretivo (ALCARDE, 1992; AMARAL et al., 1994; ALCARDE; RODELLA, 2003). Aliado ao efeito corretivo, os silicatos também podem ser utilizados como fonte de Si para as plantas, inclusive para a cana que é classificada como acumuladora de Si. O Si, mesmo não sendo considerado um nutriente essencial, segundo critérios de Arnon e Stout (1939), tem proporcionado incrementos de produção na cana e aumento da resistência a condições de estresses bióticos e abióticos.

Frente à necessidade de informações sobre o manejo do sistema de plantio de soja sob palhada de cana-de-açúcar, o presente trabalho teve como objetivo contribuir com mais informações sobre o tema, estudando os efeitos de doses de carbonato de cálcio e silicato de cálcio sobre atributos químicos do solo, na produção da cultura da soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Acidez do solo e calagem

Dentre os fatores ambientais do solo, os ligados à acidez (pH, saturação por bases, acidez potencial e solubilidade de nutrientes) são os que mais interferem na produtividade, especialmente nas regiões tropicais.

É de conhecimento disseminado a importância da calagem para a melhoria das condições físico-químicas e biológica dos solos, sendo estas refletidas pelas plantas através do aumento dos lucros obtidos com a produtividade agrícola (BOARETTO et al., 1996). Esta prática, de fundamental importância em solos ácidos, torna-se indispensável na maioria dos casos (QUAGGIO, 1992), porém, nem sempre é realizada de modo adequado.

A aplicação de calcário promove a elevação do pH, neutralização do alumínio tóxico, fornece cálcio e magnésio, propicia um maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, melhorando a eficiência no uso de nutrientes e água que estão no solo. Assim, a utilização de corretivos da acidez, torna-se imprescindível para atingir elevadas produtividades, sendo o investimento que maior retorno proporciona, quando comparado à aplicação de outras tecnologias, tais como irrigação, tratamento fitossanitário e mesmo a adubação (SILVA, 2002).

Os calcários comuns (carbonato de cálcio e magnésio) têm baixa solubilidade e devem ser uniformemente distribuídos em toda a área e incorporados ao solo, para permitir maior contato entre o corretivo e a fonte de acidez, resultando num efeito mais rápido (QUAGGIO, 1986).

Com a aplicação de calcário em superfície na cultura da soja, Cambri e Alleoni (2002) observaram, aos seis meses após a aplicação, que a correção do pH e do Al e os aumentos da CTC e da saturação por bases ocorreram apenas nos primeiros 5 cm do solo. Decorridos dezoito meses da aplicação, a ação do corretivo se estendeu até a profundidade de 10 cm de solo, demonstrando que, com o passar do tempo, o efeito do calcário é observado em profundidade. Tanto aos seis meses, quanto aos dezoito meses, não foi observado aumento nos teores de Ca e Mg abaixo da camada mais superficial (0-5 cm).

Costa et al. (2002) verificaram que a aplicação superficial de diferentes doses de calcário com diferentes poderes relativos de neutralização total (PRNT) na cultura da soja, resultou numa relativa correção do solo até a profundidade de 10 cm aos treze meses após a aplicação. Na camada de 0-5 cm, houve aumento de pH e dos teores de Ca, Mg e saturação

por bases (V %), e redução de H+Al, em função do aumento das doses e não houve resposta da cultura da soja aos diferentes calcários e doses utilizadas.

Segundo Petrere (2001), a aplicação superficial de calcário no solo aumenta a decomposição da matéria orgânica, liberando nitratos e sulfatos, que se ligam ao cálcio e magnésio do calcário e podem descer pelas galerias formadas pela ação de organismos da meso e da macrofauna, além da ação das raízes, até as camadas mais profundas do solo.

Caires et al. (2000) mostraram que a calagem superficial proporcionou aumentos no pH, Ca + Mg trocáveis, saturação por bases e redução nos teores de H+Al, em todas as profundidades estudadas, inclusive nas de 20-40 e 40-60 cm. Os autores verificaram também que o método da elevação da saturação por bases para 65%, em amostra de solo coletada na profundidade de 0-20 cm, apresenta estimativa adequada para a recomendação de calcário na superfície em sistema plantio direto, mas a calagem superficial somente deve ser recomendada para solo com pH em CaCl<sub>2</sub> inferior a 5,6 ou saturação por bases inferior a 65% na camada de 0-5 cm.

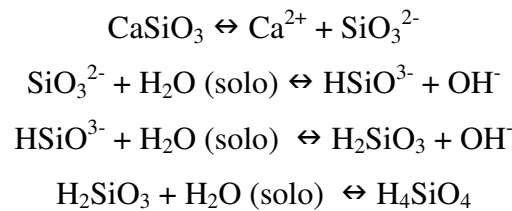
A aplicação superficial de calcário sem incorporação em solos de textura média, em sistema de plantio sob a palha, com utilização de gramíneas de sistema radicular profundo pode adicionar ao solo grandes teores de matéria orgânica e proporcionar cobertura de solo, criando condições para uma possível movimentação em profundidade do calcário. Isso pode ser explicado pelos canalículos deixados após a decomposição das raízes, pela própria atividade da macro e microbiota do solo, ativadas pelos teores mais altos de matéria orgânica, proporcionado pela palha da cana colhida mecanicamente (MESSIAS, 2002).

Baseando em tais considerações, a solução para a correção da acidez do solo em profundidade pode estar no uso de materiais mais solúveis, associados à presença de materiais vegetais que tendam a caminhar no perfil do solo, mesmo sem incorporação, ficando evidente a necessidade de estudos que visem a determinação de silicatos em relação às propriedades químicas do solo em diferentes sistemas de manejo do solo.

## **2.2. Comportamento de silicatos como corretivo de acidez**

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo de acidez é o calcário. Todavia, a utilização de alguns resíduos siderúrgicos para a mesma finalidade têm-se mostrado como alternativa viável para o aproveitamento de parte desses subprodutos, destacando-se as escórias (AMARAL et al., 1994).

Dentre as principais fontes de silício, destacam-se as escórias de siderurgia, tendo como principais componentes os silicatos de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) e de magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ) sendo estes, os responsáveis pela correção da acidez do solo. Basicamente o mecanismo de correção da acidez pelos silicatos presentes nas escórias pode ser explicado pelas seguintes reações descritas por Alcarde e Rodella (2003):



As equações demonstram que a hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) que no solo reagem neutralizando os prótons ( $\text{H}^+$ ), promovendo a elevação do pH, e ainda reagem com o  $\text{Al}^{3+}$  presente no solo formando o hidróxido de alumínio ( $\text{Al(OH)}_3$ ), que corresponde a uma forma precipitada e não tóxica aos vegetais e como consequência quanto maior a dose de silicato aplicada, maior o pH do solo (KORNDÖRFER et al., 2002; CARDOSO, 2003).

Em seu mecanismo de correção da acidez do solo, os silicatos, diferentemente dos carbonatos, não liberam para a atmosfera moléculas de  $\text{CO}_2$ , que contribuem para o aumento do efeito estufa e de seus consequentes danos ao meio ambiente (NOLLA, 2004).

Alcarde (1992) cita ainda que o silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ g dm}^{-3}$  e  $\text{CaSiO}_3 = 0,095 \text{ g dm}^{-3}$ ) e que a concentração de Si na solução diminui com a elevação do pH, contudo, a ionização aumenta o fenômeno da adsorção pelas partículas do solo.

A alta concentração de silicatos de Ca e Mg nas escórias sugere sua utilização como corretivo de acidez do solo e como fonte desses nutrientes às plantas, especialmente para solos arenosos com baixa fertilidade. Assim como no calcário, a reatividade da escória varia segundo a granulometria, dosagem utilizada, tipo de solo e com o tempo de contato da escória com o solo (PIAU, 1991; NOVAIS et al., 1993; AMARAL SOBRINHO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1994).

Pereira (1978) estudou o efeito corretivo de uma escória da Usiminas-MG em comparação com sete calcários de diferentes origens, concluindo não haver diferenças entre os corretivos quanto à correção do pH de amostras de dois Latossolos. Contudo, Veloso et al.

(1992), verificando o efeito de diferentes materiais concluíram que o calcário calcinado foi o que provocou o maior aumento de pH, seguido do calcário dolomítico e da escória.

Estudos realizados por Louzada (1987) demonstraram que quando se aplica calcário e escória na mesma granulometria, as escórias são pouco menos eficientes na elevação do pH do solo, sendo estas pequenas diferenças de eficiência atribuídas ao valor neutralizante mais baixo da escória.

Barnette (1952) estudou o efeito do  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  e escória silicatada, sendo que este último corretivo apresentou um poder de redução da atividade hidrogeniônica do solo igual a do carbonato e do hidróxido, quando usados em doses equivalentes.

De acordo com Sherman et al. (1964) e Tamini e Matsuyama (1972), a escória silicatada apresenta ação corretiva semelhante à do calcário, porém com uma vantagem adicional, isto é, evitar o perigo do excesso de cal, que pode provocar a indisponibilidade de micronutrientes.

Fortes (1993) estudou o comportamento de duas escórias de siderurgia de alto-forno de fabricação de ferro-gusa e calcário, em dois Latossolos Vermelho-Amarelo de diferentes texturas. Apesar da escória ter corrigido a acidez do solo, a reação foi mais lenta que a do calcário, indicando que a aplicação da escória, baseado na determinação do Poder de Neutralização (PN), não foi eficaz. Semelhantemente, Prado e Fernandes (2000a) compararam a escória de siderurgia de alto forno e um calcário calcítico quanto à eficiência da correção da acidez do solo, em condições de vaso, chegando à mesma conclusão.

A reação mais lenta da escória de siderurgia, após sua incorporação ao solo, pode ser influenciada por diversos fatores, tais como, a presença de impurezas como alumínio, que reduzem sua solubilidade (ANDO et al., 1998). Isto pode ser explicado pela constituição química da escória que apresenta parte de compostos de Ca e Mg ligado a aluminossilicatos (CRANE, 1930) ou pela formação de uma película de óxi-hidróxido de Fe e Al em torno das partículas do corretivo em função, provavelmente, da alcalinidade em torno desta partícula no momento da hidrólise. Esse fato é mais evidente nos materiais de escória de siderurgia em função da presença de Fe e Al em maior quantidade, quando comparado aos calcários.

Devido à característica química da escória de siderurgia ter reação mais lenta no solo, pode-se inferir que seu uso proporciona vantagens para culturas semi-perenes como a cana-de-açúcar e as perenes, pois seu sistema radicular permanece por um longo tempo explorando praticamente a mesma região do solo. Desse modo, não haveria necessidade de nova incorporação de corretivos no solo (PRADO et al., 2001).

### 2.3. Efeito da palha de cana-de-açúcar sobre os atributos químicos do solo

Segundo Cintra (1983) para a manutenção de um sistema agrícola estável e produtivo, é necessário que as condições químicas e físicas do solo sejam mantidas num nível adequado para as culturas. Tais objetivos podem ser atendidos pelas coberturas vegetais através da recuperação dos solos degradados e ou manutenção de suas condições originais, criando um ambiente favorável para a atividade biológica.

Para Derpsch et al. (1985), as principais causas da redução da produtividade dos solos são o uso inadequado, as conseqüências diretas da erosão e reduções nos teores de matéria orgânica. Tais problemas podem ser evitados com a manutenção de uma camada de cobertura vegetal sobre o solo suficiente para reduzir as perdas por erosão, protegendo-o contra o impacto das gotas de chuva e arraste superficial.

Conforme Basso (1999) os resíduos das plantas que retornam ao solo são as principais fontes de nutrientes e de energia para os microrganismos e possuem influência sobre as características químicas, físicas e biológicas do solo.

A taxa de decomposição do resíduo vegetal depende de suas características intrínsecas e de fatores externos. Para Alexander (1977), temperatura, oxigênio, umidade, pH do solo, nutrientes inorgânicos, relação carbono:nitrogênio (C/N) e o teor de lignina são os fatores que afetam o processo de decomposição.

A grande deposição de resíduos vegetais (palhada) na superfície do solo ocasiona a produção contínua de ácidos orgânicos hidrossolúveis de baixo peso molecular (ácido cítrico, oxálico, fórmico, acético, málico, succínico, malônico, láctico, aconítico, fumárico entre outros), os quais participam na ciclagem e mobilidade dos elementos químicos inorgânicos do solo. A natureza e concentração desses ácidos determinam a extensão pela qual o processo de ciclagem é afetado (PAVAN, 2001).

O plantio de culturas diretamente sobre resíduos vegetais assegura uma maior uniformidade na germinação das sementes, principalmente leguminosas, visto que a palha acumulada assegura a umidade do solo, mesmo se houver estiagem. Observa-se também uma diminuição na compactação do solo, evita a erosão, economiza tempo e dinheiro com a dispensa do uso de máquinas no preparo da terra e proporciona um aumento de 20 a 30% na retomada de produção da cana-de-açúcar, já que a técnica garante uma maior conservação e uma pronta recuperação do solo (MESSIAS, 2002).

Oliveira (1999), avaliando a decomposição da palhada de cana-de-açúcar, verificou que a liberação de K, Ca e Mg foi de 85, 44 e 39% respectivamente, após um ano do resíduo no campo.

Ribeiro et al. (2002), estudando o comportamento dos atributos químicos de um Argissolo amarelo, textura arenosa/média sob plantio de cana-de-açúcar sem queima e com queima antes da colheita, verificaram que o teor de bases trocáveis e a CTC do solo decresceram com o aumento da profundidade, sendo maior onde a palha foi mantida sobre a superfície do solo. As maiores diferenças foram observadas nas primeiras profundidades do solo devido ao efeito da palhada que, ao longo do ciclo da cultura vai sendo degradada, liberando gradativamente os nutrientes para a cultura, diminuindo as perdas que podem ocorrer principalmente por lixiviação nestes solos.

#### **2.4. Silício no solo**

O Si não está presente no grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, aveia, trigo, milho, grama kikuyu, grama bermuda) e algumas espécies não gramíneas (feijão, alfafa, tomate, alface, pepino e repolho) têm mostrado aumentos de produtividade com o aumento da disponibilidade de Si no solo (SILVA, 1973; ELAWAD; GREEN, 1979; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997; EPSTEIN; BLOOM, 2006; KORNDORFER, 2006).

No processo de formação dos solos, o Si possui um papel de destaque, afetando de forma significativa a fertilidade do solo e a nutrição das plantas. Isso pode ser explicado não apenas pela distribuição desse elemento na natureza, mas também pelos teores encontrados, podendo variar de 5 a 40% nos solos (TISDALE et al., 1985). As propriedades físico-químicas deste elemento podem ser definidas pela sua posição na tabela periódica. A estrutura atômica do Si permite a formação de polímeros similares ao do carbono, formar complexos com o alumínio e ainda, exibir propriedades químicas e biológicas semelhantes ao fósforo.

Os solos apresentam maior quantidade de Si nos horizontes mais superficiais. A sílica amorfa da parte mais superficial dos solos pode ser toda derivada de restos de plantas na forma de fitólitos (JONES; HANDRECK, 1967).

Segundo McKeague e Cline (1963), vários compostos presentes no solo são capazes de adsorver Si, dentre eles, as diversas formas de sílica cristalina e amorfa, silicatos e



substâncias não silicosas tais como óxidos de Fe, Al e Mn. Os óxidos apresentam apreciável capacidade de adsorção de Si. Como sugerido por esses autores, a adsorção de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  pode estar relacionada à tendência do Si assumir coordenação com seis hidroxilas, as duas hidroxilas adicionais seriam da superfície adsorvente.

Raij e Camargo (1973) notaram, em vários solos do Estado de São Paulo, maiores teores de sílica solúvel à superfície, fato supostamente explicado pelo efeito da ciclagem das plantas. As condições de diluição da solução do solo também tomam importância nos processos de desorção-dissolução de sílica, o que pode se notar em experimentos com extratos de solos diluídos em laboratório (McKEAGUE; CLINE, 1963; RAIJ; CAMARGO, 1973), ou por medições no lixiviado (GOYAL, 1984).

A ausência de sílica polimerizada nos extratos de solos de diversas mineralogias e preparados numa variedade de maneiras (McKeague ;Cline, 1963) é uma forte evidência que  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  e não a sílica coloidal, é a principal forma de Si em soluções naturais de solos. Concentrações de Si dissolvido em extratos aquosos de diferentes solos aumentaram com a temperatura (McKeague; Cline, 1963), bem como ao elevar a razão solo/solução (Raij et al., 1973; McKeague; Cline, 1963 e Goyal, 1984).

O Si está presente na solução do solo sob forma pouco dissociada, porém sujeita a interagir com o complexo sortivo. Assim, a sílica dissolvida nos solos é um soluto ativo, não um componente passivo que será obrigatoriamente perdido por lixiviação após a intemperização das rochas (McKeague; Cline, 1963).

Na solução do solo, o  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  comporta-se como um ácido muito fraco, de forma que, em pH 7, 0, apenas 0,2% se ioniza na forma carregada negativamente ( $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ), sendo que o grau de ionização aumenta com a elevação do pH. Em valor acima de 8,5 a espécie química  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  contribui significativamente para o aumento do Si total na solução.

Na faixa normal de pH dos solos, o  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  é a principal espécie química de silicato em solução. Em altas concentrações, ao redor de  $28 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si na solução, o monômero polimeriza-se para formar precipitados de sílica amorfa. Jones e Handreck (1963) indicaram ainda que os níveis de Si na solução do solo com o mesmo pH podem ser influenciados pela quantidade, tipo e cristalinidade dos sesquióxidos livres. Embora o Si seja adsorvido às superfícies de vários tipos de substâncias inorgânicas em solos, acredita-se que os óxidos de Fe e Al são os principais responsáveis por esta reação. A capacidade de adsorção dos óxidos de Al diminui com o aumento do grau de cristalinidade.

Pereira et al. (2002) estudando quatro solos de cerrado observaram que a elevação do pH provavelmente promove a liberação do Si adsorvido nos colóides do solo e solubilização

de polisilicatos (formas não disponíveis). Quanto maior o pH do solo, maior a transformação de polímeros em monômeros, isto é, maior é a transformação do ácido polisilícico em ácido monossilícico.

A capacidade de liberação de sílica para a solução do solo é influenciada pelo teor de argila, em virtude de sua adsorção aos sesquióxidos, que retém  $\text{SiO}_2$ , e pelo grau de intemperismo do solo, mostrando que essa quantidade é diretamente dependente da estabilidade dos minerais da fase sólida. Quanto menor a estabilidade do mineral, maior é a ação do intemperismo do solo. Essa estabilidade se baseia no tamanho das partículas (quanto menor a partícula, maior é sua superfície específica) e no número de grupos de ligações Si-OH na estrutura interna (quanto maior o número de ligações, maior a estabilidade dos minerais), além de ser influenciada pela temperatura, pH, adsorção, umidade e potencial de oxido-redução (McKEAGUE et al., 1963; RAIJ; CAMARGO, 1973; BELLINGIERI, 1979).

Gontijo (2000), estudando solos de diferentes localidades e texturas observou que os valores de Si extraível diminuem à medida em que aumentam os teores de areia do solo. Solos com elevadas porcentagens de areia tendem a apresentar baixos teores de Si solúvel devido a pequena capacidade de fornecimento de Si para as plantas, principalmente a areia grossa que possui uma superfície específica muito pequena. A areia é constituída basicamente por quartzo, que apesar de possuir alto teor de  $\text{SiO}_2$  em sua composição apresenta potencial de liberação de Si a um prazo muito longo. Cita ainda que a fração areia de um solo é praticamente inerte, além de solos arenosos possuírem uma drenagem excessiva, carreando assim, para horizontes mais profundos, o Si disponível.

## 2.5. Silício na planta

Plantas superiores diferem caracteristicamente em sua capacidade de absorver silício. Dependendo do teor de silício ( $\text{SiO}_2$  expresso em porcentagem de peso seco da parte aérea), elas podem ser divididas em três grupos principais: membros das Cyperaceae, como rabo de cavalo (*Equisetum arvense*) e espécies de Gramineae de terra de várzea como o arroz (*Oryza sativa* L.) apresentando 10 a 15% de  $\text{SiO}_2$ ; espécies de Gramineae de terra alta, como a cana-de-açúcar, a maioria de espécies cereais e um pequena quantidade de dicotiledôneas, que apresentam 1 a 3% de  $\text{SiO}_2$ ; e a maioria das dicotiledôneas, especialmente leguminosas, apresentam menos de 0,5% de  $\text{SiO}_2$  (MARSCHER, 1995).

A absorção de Si pelas plantas ocorre na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ). Depois de polimerizado o Si se torna imóvel na planta. Prova disso, Silva (1973), trabalhando com a cultura da cana-de-açúcar suprida com Si, mostraram que o elemento preenchia os espaços interfibrilares, reduzindo o movimento da água através da parede celular, causando aumento da economia de água na planta pela diminuição da taxa de transpiração, aumentando também a resistência contra o ataque de pragas e doenças, já que o Si situa-se abaixo da cutícula das células epidérmicas formando uma camada de sílica, aumentando a resistência da parede celular.

Korndörfer et al. (2000) citam que o Si no interior das plantas é considerado pouco móvel, sendo que o seu transporte, da raiz até a parte aérea se dá através do xilema e depende da taxa de transpiração, como para todos os nutrientes.

O Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal através de várias ações indiretas, como a diminuição do auto-sombreamento, deixando as folhas mais eretas, decréscimo na susceptibilidade ao acamamento, pela maior rigidez estrutural dos tecidos, proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Mn, Fe e Na, diminuição na incidência de patógenos, e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994; EPSTEIN, BLOOM, 2006).

As plantas também demonstraram incrementos significativos da taxa fotossintética devido às folhas mais eretas, que melhoram a arquitetura foliar, pois afetam a interceptação de luz em populações densas de plantas, além de outros processos no metabolismo vegetal, tendo como resultado final um aumento e maior qualidade na produção (MARSCHNER, 1995). Korndörfer et al. (1999b) também observaram que o aumento na absorção de Si poderia produzir plantas mais eretas, com maior capacidade fotossintética e, como consequência, maior foi o nível de Si encontrado nas folhas.

Anderson e Snyder (1990) obtiveram um aumento de produção de cana de 39% e de 50 % na de açúcar com a aplicação de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de escória silicatada aplicada no plantio. Uma avaliação feita dos três cortes consecutivos indicou uma redução no declínio da produção de 28,8% para cana e 29,2% para o açúcar.

De acordo com Savant et al. (1999), o Si aplicado no plantio da cana-de-açúcar afeta não apenas a produtividade da cana-planta, mas também da soqueira. Anderson (1991) verificou uma queda na produtividade da cana-soca, em relação a cana-planta, de até 45% quando a cana-planta não foi adubada com Si e de apenas 28% quando a cana-planta recebeu a adubação no plantio com silicato de cálcio (0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 Mg.ha<sup>-1</sup>). Esse resultado

confirma o significativo efeito residual do Si aplicado mesmo depois de 2 anos após a aplicação.

Em experimento realizado em casa-de-vegetação, Prado et al. (2000b) utilizaram calcário e escória de siderurgia em Neossolo Quartzarênico na cultura da cana-de-açúcar, concluindo que ambos os materiais foram semelhantes para a produção de matéria seca da parte aérea da variedade RB 72-454 levando em consideração a média de dois cortes. Entretanto, pelo estudo de regressão, observou-se que a escória incrementou linearmente o perfilhamento da cana-de-açúcar em relação ao calcário, a qual não atingiu significância.

Grothge-Lima (1998) mostrou a capacidade da soja em absorver e translocar quantidades elevadas de Si para as folhas e ramos, quando o meio é suplementado com o elemento. Folhas e hastes acumularam Si até um determinado limite, cerca de  $4500 \text{ mg kg}^{-1}$  para folhas e  $650 \text{ mg kg}^{-1}$  para as hastes. Por outro lado, as raízes acumularam quantidades proporcionalmente crescentes de Si, conforme se aumentou o nível do Si no meio.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. Foram utilizadas colunas de PVC de 50 cm de altura x 20 cm de raio, com capacidade de 15,7 dm<sup>3</sup>. Como substrato foi utilizado amostra de 10 a 20 cm de um Neossolo Quartzarênico órtico típico coletado no município de Santa Vitória-MG. Em seguida o solo foi seco ao ar e peneirado em tamis de 2 mm. Após foi retirada amostra do solo para a caracterização química e física na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo (Neossolo Quartzarênico órtico típico) utilizado como substrato para o experimento.

pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	4,3
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,1
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,1
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,1
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0,9
K (mg dm <sup>-3</sup> )	15
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,1
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,34
V (%)	5,5
m (%)	84
M.O (g kg <sup>-1</sup> )	14
S-SO <sub>4</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	5
Si (mg dm <sup>-3</sup> )	0,6
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	190
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	6,3
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	1,0
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,4
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,32
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	844
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	1
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	155

Ca, Mg, Al = (KCl 1 N); P, K = (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N); H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); T= CTC pH 7; V= Saturação por bases; MO= (Walkley-Black). EMBRAPA (1999).

**Observações:** S-SO<sub>4</sub> = [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol/L] / Si = [CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>] Fe, Mn, Cu, Zn = [DTPA 0,005 + TEA 0,1M a pH 7,3] B = [BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O a 0,125% à quente]. Análise textural pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1997).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2x5 + 1, sendo duas fontes de corretivo (Carbonato de Cálcio p.a. 99% e Silicato de Cálcio p.a. – 16% de CaO e 64% de SiO) e cinco doses de cada corretivo (0, 1.500, 3.000,

6.000 e 12.000 kg ha<sup>-1</sup>), além de um tratamento adicional sem aplicação de corretivo e sem palha de cana.

Cada coluna foi preenchida até à altura de 40 cm com 12,5 dm<sup>3</sup> de solo. Tanto o carbonato de cálcio quanto o silicato de cálcio foram aplicados na superfície do solo sem incorporação e em seguida aplicada a palha da cana. A palha da cana-de-açúcar foi obtida em área comercial de colheita mecânica da cana da Usina Guairá, Guaíra-SP. Foi aplicado um volume de palha sobre o vaso correspondente a 14 t ha<sup>-1</sup> de palha. A quantidade de palha de cana aplicada foi determinada em função dos dados obtidos por Campos (2003), correspondente à deposição anual de palha de cana em áreas de colheita mecanizada. Após o período de incubação do solo com os corretivos, foi realizada amostragem dos solos de cada repetição nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm, secas ao ar, peneiradas em tamis de 2 mm e destinadas à análise química para a determinação do Si trocável, segundo metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004) e pH (CaCl<sub>2</sub>) Al e Ca trocáveis no solo, segundo EMBRAPA (1999), com o objetivo de caracterização dos tratamentos antes do plantio da soja, sendo estes valores demonstrados na Tabela 2.

A umidade do solo foi repostada diariamente mantendo 60% do volume total de poros (VTP) durante 20 dias para a reação do carbonato e do silicato. Após esse período foram semeadas 10 sementes por coluna de soja da cultivar BRS/MG-68 “Vencedora” e 10 dias após a germinação foi realizado o desbaste mantendo-se as três melhores plantas por coluna. No plantio foi realizada uma adubação com 135 mg dm<sup>-3</sup> de N; 250 mg dm<sup>-3</sup> de P; 60 mg dm<sup>-3</sup> de K; 70 mg dm<sup>-3</sup> de Mg; 92 mg dm<sup>-3</sup> de S; 0,5 mg dm<sup>-3</sup> de B; 3,0 mg dm<sup>-3</sup> de Zn; 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Mn; 0,10 mg dm<sup>-3</sup> de Mo e 1,5 mg dm<sup>-3</sup> de Cu. Após a germinação e desbastes foram realizadas quatro aplicações, com intervalo de 15 dias, da adubação de cobertura com 60 mg dm<sup>-3</sup> de N e 40 mg dm<sup>-3</sup> de K, utilizando os reagentes p.a. KNO<sub>3</sub> e NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. A irrigação dos vasos é feita sempre que necessário mantendo-se a umidade a 60% do VTP.

No estágio de florescimento da soja, a parte aérea de uma das três plantas foi coletada, separada em folhas e o caule e lavadas em água corrente e água destilada e secas a 65° -70°C em estufa com circulação forçada de ar até peso constante. Em seguida o material foi pesado para a determinação da matéria seca de folha (MSF) e caule (MSC) e parte aérea total (MST). O material seco de cada parte foi moído e destinado à análise química de tecido para a determinação dos teores e acúmulo de Si na planta segundo metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

Tabela 2. pH ( $\text{CaCl}_2$ ), Si ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e Ca ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) trocáveis no solo após a aplicação e incubação do silicato e do carbonato corretivos.

Corretivo	Atributo	Dose ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Profundidade (cm)			
			0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Carbonato	pH ( $\text{CaCl}_2$ )	0	4,62	4,03	3,76	3,73
		1500	4,71	3,72	3,71	3,74
		3000	5,18	3,94	3,68	3,71
		6000	5,79	3,97	3,82	3,83
		12000	6,04	4,68	4,02	3,92
	Ca ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	0	1,90	3,10	3,10	3,10
		1500	9,80	6,20	3,80	3,60
		3000	24,60	8,80	10,4	5,90
		6000	42,60	8,40	6,10	3,00
		12000	40,90	15,20	9,20	5,90
	Si ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0	11,63	7,60	4,74	4,38
		1500	17,85	5,81	5,27	5,09
		3000	15,94	6,52	5,45	5,81
		6000	12,18	5,27	5,27	4,38
		12000	10,71	4,91	4,91	4,91
	Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	0	10,0	8,50	8,50	8,50
		1500	3,50	4,00	7,00	8,00
		3000	1,00	4,50	8,00	8,00
		6000	0,00	4,50	6,50	6,50
		12000	0,00	1,50	4,50	6,50
Silicato	pH ( $\text{CaCl}_2$ )	0	4,62	4,03	3,76	3,73
		1500	5,05	3,92	3,77	3,78
		3000	5,72	4,64	4,06	3,75
		6000	5,72	5,04	3,91	4,00
		12000	6,58	5,15	4,64	4,03
	Ca ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	0	1,90	3,10	3,10	3,10
		1500	17,10	7,70	4,20	4,80
		3000	26,30	13,50	7,40	5,30
		6000	45,70	33,60	7,40	5,50
		12000	57,00	26,50	18,90	6,90
	Si ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0	11,63	7,60	4,74	4,38
		1500	15,37	8,51	5,63	5,45
		3000	21,53	10,15	8,69	6,70
		6000	29,34	14,99	7,42	7,60
		12000	76,14	24,49	13,68	7,79
	Al ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	0	10,0	8,50	8,50	8,50
		1500	3,50	5,00	7,50	7,50
		3000	1,00	2,50	4,00	7,00
		6000	2,00	5,50	6,00	6,50
		12000	0,50	1,50	5,50	6,50

No mesmo período foram coletadas, com auxílio de um trado de 5 cm de diâmetro, amostras de solo de cada repetição nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em tamis de 2mm e destinadas à análise química para a determinação do pH ( $\text{CaCl}_2$ ), Si, Ca e Al trocáveis no solo. As determinações do Si no solo foram feitas segundo metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004) e das demais variáveis conforme descrito por EMBRAPA (1999).

Os dados de MSC, MSF, MSPA, pH ( $\text{CaCl}_2$ ) Si, Ca e Al trocáveis no solo coletado antes do plantio e no período de florescimento da soja foram submetidos à análise de variância, regressão em função das doses de carbonato de cálcio e silicato de cálcio, contrastes para comparação com o tratamento adicional e teste de média (Scott Knott 5%) para comparação entre os corretivos e profundidade com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA et al., 2000).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Crescimento e Si na planta

A Figura 1 (A, B e C) apresentam os gráficos de regressão de produção de matéria seca de folha (MSF), caule (MSC) e total da parte aérea (MST) da soja em função das doses crescentes de carbonato e silicato. As doses crescentes de carbonato e silicato proporcionaram ajuste quadrático para MSF, MSC e MST. Com base nas equações de regressão da produção de MSF, MSC e MST em função das doses crescentes de carbonato e silicato, determinou-se a dose de cada corretivo que proporcionou a máxima produção de cada parte e total e as respectivas produções (Tabela 3).

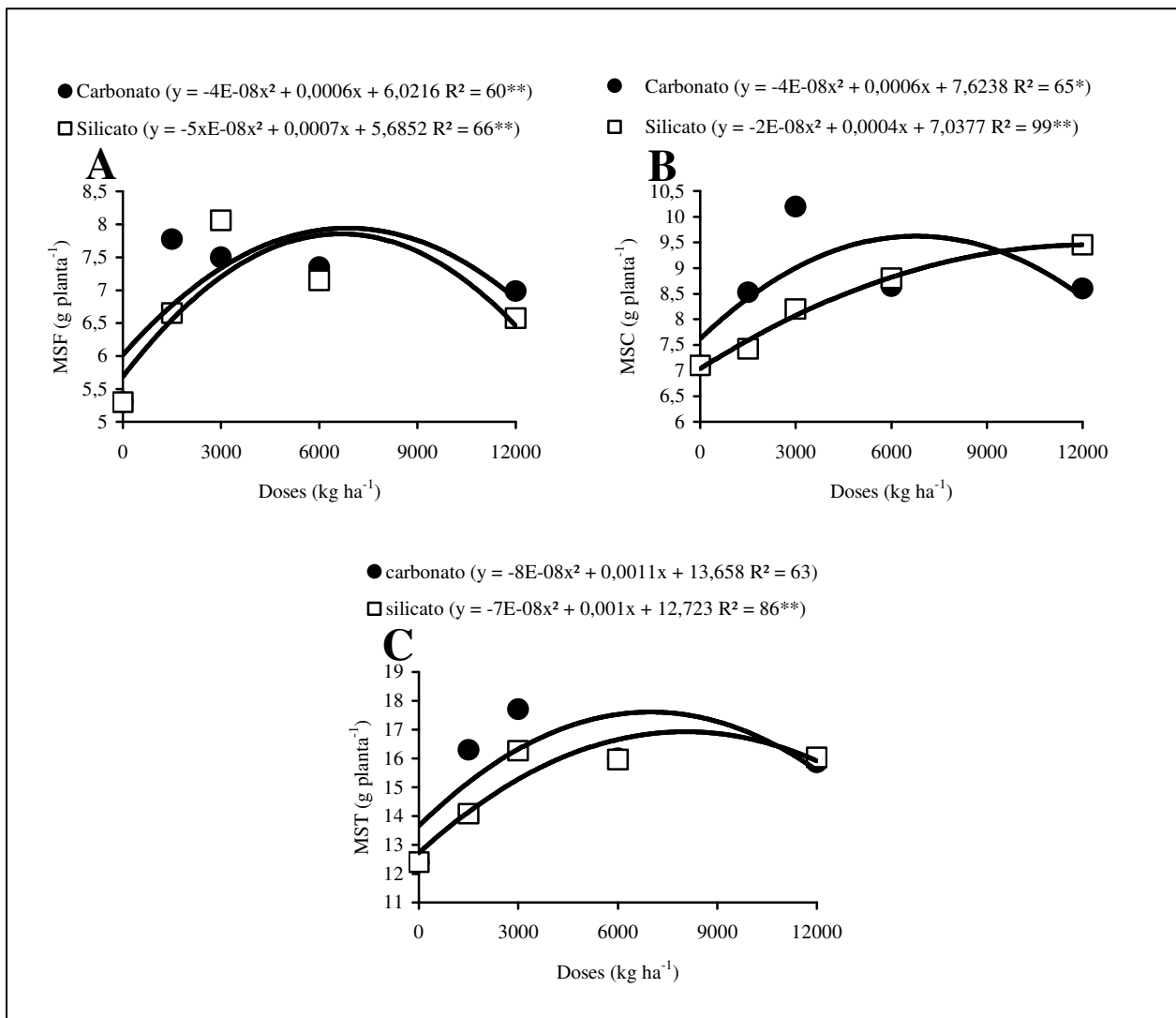


Figura 1. Produção de MSF (A), MSC (B) e MST (C) em função das doses de carbonato e silicato de cálcio em Neossolo Quartzarênico órtico típico sob palhada.

Tabela 3. Produção de cada parte e total ( $\text{g planta}^{-1}$ ) da planta obtida com as doses dos corretivos que proporcionaram a máxima produção e também as doses de silicato e carbonato que proporcionaram a máxima produção de MSF, MSC e MST.

<b>Corretivo</b>	<b>MSF</b>	<b>MSC</b>	<b>MST</b>
Produção ( $\text{g planta}^{-1}$ )			
<b>Carbonato</b>	8,3	9,9	17,4
<b>Silicato</b>	8,1	9,1	16,29
Doses ( $\text{kg ha}^{-1}$ )			
<b>Carbonato</b>	7.500	7.500	6.875
<b>Silicato</b>	7.000	10.000	7.143

A máxima produção de MSF da soja no florescimento foi obtida com dose menor de silicato em relação ao carbonato e o inverso foi observado para a produção de MSC e MST. No entanto, a máxima produção de MSF, MSC e MST obtida com o silicato é inferior à produção obtida com o carbonato. A redução da produção de matéria seca de plantas adubadas com silício é relatada pela literatura por diversos autores (LIMA SOBRINHO et al., 2004(a); LIMA SOBRINHO et al., 2004(b); RODRIGUES; KORNDÖRFER, 2004; LUZ et al., 2006). Os mesmos autores atribuem esse efeito ao acumulado e precipitação de sílica na epiderme das folhas das plantas, caule e ramos melhorando a arquitetura das plantas e consequentemente aumentando a eficiência na assimilação de luz e fotossíntese reduzindo assim, a produção de novas folhas. Esses efeitos são justificados pelo aumento nos teores de clorofila em plantas que apresentam acúmulo de Si nas folhas, como relatado por Adatia e Besford (1986), Al-aghabary et al. (2004) e Gong et al. (2005).

A Figura 2 apresenta o teor foliar de Si. A soja é considerada uma planta intermediária em relação ao acúmulo de Si (MARSCHNER, 1995; KORNDÖRFER et al., 2004; EPSTEIN; BLOOM, 2006; KORNDÖRFER, 2006) apresentando teores foliares aproximadamente igual a  $0,3 \text{ dag kg}^{-1}$ . No entanto, no presente experimento, considerando que as plantas foram cultivadas em solo com baixa disponibilidade de silício trocável, Neossolo Quartzarênico órtico típico, com a aplicação das doses de carbonato foi observado valor médio de teor foliar igual a  $0,88 \text{ dag kg}^{-1}$  (Figura 2 A). Quando aplicado o silicato de cálcio, observa-se aumento de até 2,2 vezes nos teores foliares de Si, com valor máximo de  $1,93 \text{ dag kg}^{-1}$  de Si (Figura 2 A). Observou-se que somente o silicato proporcionou aumento nos teores foliares de Si (Figura 2 A). Em consequência, somente com a aplicação do silicato obteve-se aumento no acúmulo de Si nas folhas e parte aérea total das plantas (Figuras 2 B e D, respectivamente).

Os teores foliares de Si no caule não foram influenciados pelos corretivos (Figura 2 C). A dose de silicato de cálcio que proporcionou o maior teor foliar de Si ( $1,93 \text{ dag kg}^{-1}$ ) foi de  $6700 \text{ kg ha}^{-1}$ . O acúmulo máximo de Si nas folhas ( $16,9 \text{ mg planta}^{-1}$ ) e na parte aérea total ( $17,0 \text{ mg planta}^{-1}$ ) da soja foram obtidas com as doses de  $8.250$  e  $7.750 \text{ kg ha}^{-1}$  de silicato, doses essas, 2,7 e 2,6 vezes acima da recomendada para as condições do solo que segundo Korndörfer et al. (2002) é de  $3000 \text{ kg ha}^{-1}$ . Com isso, pode-se inferir que a ausência de efeito da soja à aplicação de silicato no campo pode estar relacionado à dose abaixo do necessário para o fornecimento de Si para as plantas.

O acúmulo de Si pelas plantas pode trazer inúmeros benefícios, dentre eles a resistências a estresses abióticos, como estresse hídrico e estresse biótico, como ataque de doenças (Marschner, 1995; Korndorfer et al., 2002; Epstein, 2006; Korndorfer, 2006) . Nolla et al. (2005) e Nolla et al. (2006) estudando o efeito de doses crescentes de silicato e calcário sobre a incidência e severidade de doenças de final de ciclo na soja observou que houve redução de incidência e severidade de cercospora e oídio, no entanto, nenhum efeito foi observado sobre o controle de ferrugem asiática.

Com o objetivo de avaliar a palha da cana sobre a produção da soja e características químicas do solo, fez-se um tratamento adicional sem adição de corretivo e sem palha. Para a avaliação estatística, fez-se o contraste desse tratamento adicional, sem palha e sem corretivo, com o tratamento com palha e sem corretivo.

No tratamento adicional, sem aplicação de corretivo e sem palha de cana, observa-se (Tabela 4) que, no contraste, a produção de MSF, MSC e MST foram significativamente inferiores à produção obtida no tratamento sem corretivo com aplicação de palha.

A maior produção da soja no tratamento com aplicação da palha da cana sem aplicação de corretivo, em relação ao tratamento sem corretivo e sem palhada pode ser atribuída aos efeitos benéficos da palha sobre características químicas do solo. No momento da avaliação de crescimento da soja, 80 dias após a aplicação da palha da cana-de-açúcar, pode ter ocorrido início da decomposição dessa, influenciando em algumas características químicas do solo como aumento da disponibilidade de nutrientes oriundos da mineralização da palhada e redução da acidez e toxidez por alumínio.

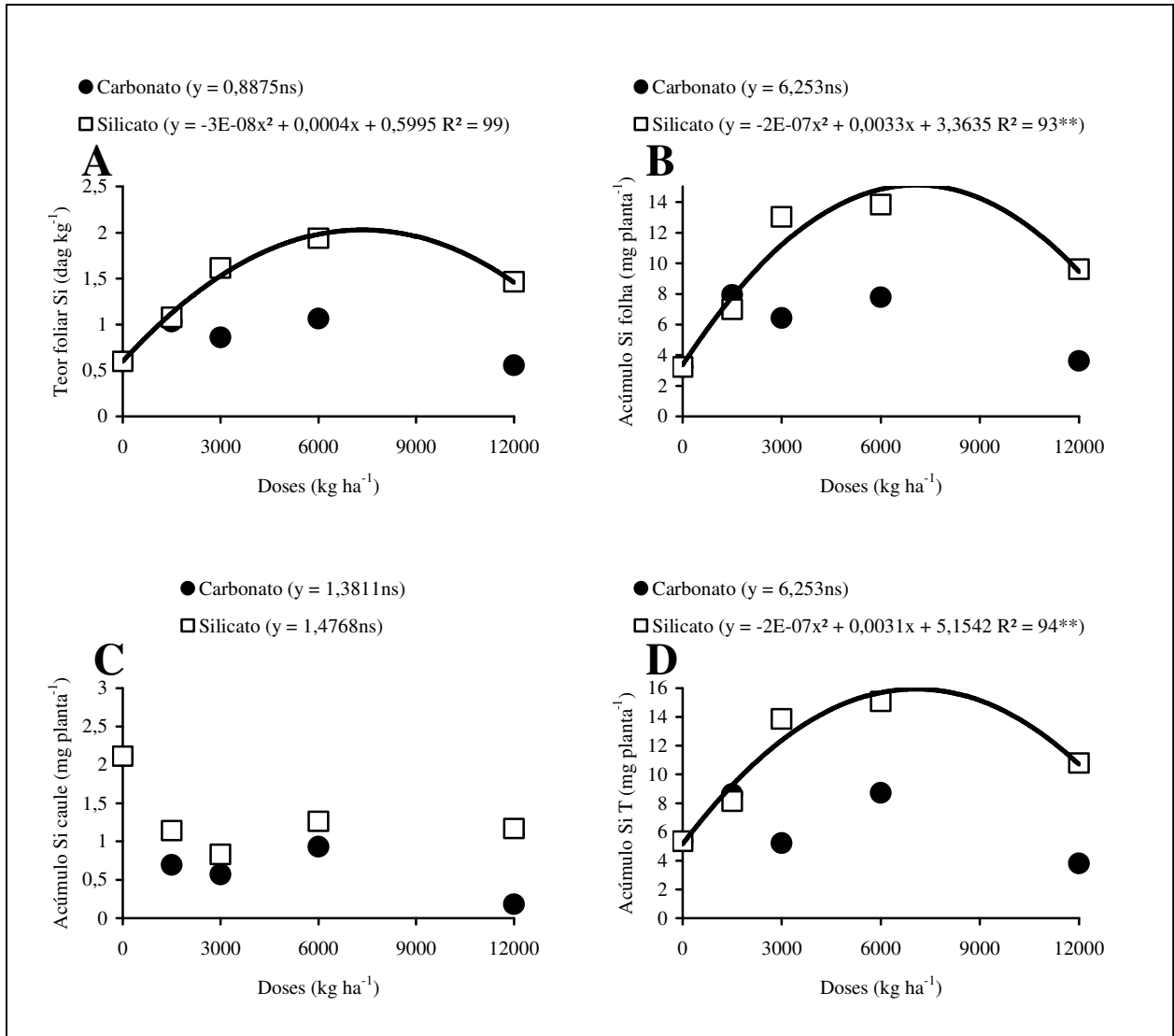


Figura 2. Teores foliares de Si (A) e acúmulo de Si nas folhas (B), caule (C) e parte aérea total (D) da soja em função das doses crescentes de carbonato e silicato de cálcio.

Na Tabela 4 observa-se também, que não houve influência da palha da cana sobre os teores foliares de Si, sendo o aumento no acúmulo no caule e na parte aérea total resultante do aumento da produção de matéria seca.

Tabela 4. Estimativa de contraste entre os tratamentos sem corretivo com palha vs. sem corretivo e sem palha.

Variáveis	Estimativa do Contraste
MSF (g planta <sup>-1</sup> )	1,72**
MSC (g planta <sup>-1</sup> )	2,93**
MST (g planta <sup>-1</sup> )	4,65**
Teor Si na Folha (dag kg <sup>-1</sup> )	-0,0675 <sup>ns</sup>
Acúmulo Si folha (mg planta <sup>-1</sup> )	0,847 <sup>ns</sup>
Acúmulo Si caule (mg planta <sup>-1</sup> )	1,06**
Acúmulo Si parte aérea total (mg planta <sup>-1</sup> )	1,91*

\*\*,\* e <sup>ns</sup> Significativo a 1 e 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

#### 4.2. pH, Si, Ca, Mg e Al trocáveis no solo

A Tabela 2 apresenta os valores de pH, Si, Al e Ca trocáveis no solo 20 dias após a aplicação dos tratamentos. Foi realizada amostragem composta juntando-se todas as repetições com a finalidade de caracterização dos tratamentos antes do plantio da soja. Assim, não pode ser realizada a análise estatística dos dados e conseqüentemente impossibilitar realizara discussão dos resultados. No entanto é possível fazer a inferência de que os dados obtidos mostram, de maneira geral que após 20 dias de incubação com a aplicação de silicato foram obtidos os maiores valores de Ca e Si trocáveis no solo. Os menores valores de Si trocável no solo com a aplicação do carbonato pode ser atribuído ao fato desse corretivo não ser fonte de Si. Observa-se, também na Tabela 2, que após 20 dias de incubação os maiores valores de pH e menores de Al trocável no solo foram obtidos com a aplicação do silicato. Então, a maior eficiência do silicato após vinte dias de incubação deve-se ao fato dessa fonte ser mais solúvel. Alcarde (1992) e Alcarde; Rodella (2003) relatam que os silicatos chegam a apresentar solubilidade 6,78 vezes maior que o carbonato de cálcio. Com base nos dados de energia livre da dissolução de carbonato de cálcio e silicato de cálcio (LINDSAY, 1979), determinou-se a solubilidade do carbonato de cálcio (0,01483 mol L<sup>-1</sup>) e do silicato de cálcio (0,04 mol L<sup>-1</sup>). Esses valores mostram que o silicato de cálcio é 2,7 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio. A conseqüência dessa maior solubilidade pode ser observada na Tabela 2, que mesmo sem avaliação estatística devido ausência de repetição, o silicato apresenta maior eficiência na disponibilização de Ca e Si e redução do pH no solo na camada de 0 a 10 e 10 a 20 cm.

Em geral, quando utilizado material comercial os silicatos apresentam menor e, ou, igual eficiência que o calcário em relação ao aumento do pH na superfície e subsuperfície, o que é atribuído às impurezas, como óxidos de ferro e alumínio, presentes nas escórias de siderurgia, principais fontes de silicato de cálcio comercial (LOUZADA, 1987; ANDO et al., 1998; ALCARDE; RODELLA, 2003).

Na Tabela 5 observa-se que as doses crescentes de carbonato e silicato alteraram o pH somente na camada de 0 a 10 cm, proporcionando ajuste linear, apresentando valores de até 6,9 e 5,4. Segundo Ribeiro et al (1999) e Furtini Neto et al. (2001) valores de pH entre 5,5 a 6 são considerados ideais para o cultivo da maioria das culturas. A aplicação da maior dose de carbonato proporcionou pH superior à faixa considerada ideal e nessas condições, segundo os mesmos autores e Lindsay (1972), pode reduzir a disponibilidade de micronutrientes como boro, cobre, ferro e manganês.

Tabela 5. Equações de regressão para os valores de pH(CaCl<sub>2</sub>) e Si (mg kg<sup>-1</sup>), Al (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e Ca (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) trocáveis no solo em função das doses crescentes de carbonato de cálcio (c) e silicato de cálcio (s) nas diferentes profundidades avaliadas

Profundidade (cm)	Corretivos	
	Carbonato	Silicato
	<b>pH (CaCl<sub>2</sub>)</b>	
<b>0 a 10</b>	pH = 0,000227c + 4,16 R <sup>2</sup> =80**	pH = 0,000143s + 3,71 R <sup>2</sup> = 98**
<b>10 a 20</b>	pH = 3,61 <sup>ns</sup>	pH = 3,63 <sup>ns</sup>
<b>20 a 30</b>	pH = 3,60 <sup>ns</sup>	pH = 3,60 <sup>ns</sup>
<b>30 a 40</b>	pH = 3,50 <sup>ns</sup>	pH = 3,59 <sup>ns</sup>
	<b>Ca (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>	
<b>0 a 10</b>	Ca = 0,00318c + 0,579 R <sup>2</sup> = 87**	Ca = 0,0016s + 0,137 R <sup>2</sup> = 94**
<b>10 a 20</b>	Ca = 1,47 <sup>ns</sup>	Ca = 1,91 <sup>ns</sup>
<b>20 a 30</b>	Ca = 1,35 <sup>ns</sup>	Ca = 1,25 <sup>ns</sup>
<b>30 a 40</b>	Ca = 1,57 <sup>ns</sup>	Ca = 1,44 <sup>ns</sup>
	<b>Si (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	
<b>0 a 10</b>	Si = 10 <sup>-7</sup> c <sup>2</sup> + 0,0017x + 5,32 R <sup>2</sup> = 96*	Si = 0,0035s + 1,38 R <sup>2</sup> = 91**
<b>10 a 20</b>	Si = 5,19 <sup>ns</sup>	Si = 0,00046s + 5,24 R <sup>2</sup> = 89*
<b>20 a 30</b>	Si = 5,91 <sup>ns</sup>	Si = 5,95 <sup>ns</sup>
<b>30 a 40</b>	Si = 6,95 <sup>ns</sup>	Si = 6,29 <sup>ns</sup>
	<b>Al (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>	
<b>0 a 10</b>	Al = -5.10 <sup>-4</sup> c + 0,5612 R <sup>2</sup> = 72**	Al = -5,5.10 <sup>-4</sup> s + 0,608 R <sup>2</sup> = 82**
<b>10 a 20</b>	Al = -3.10 <sup>-4</sup> c + 0,799 R <sup>2</sup> = 87**	Al = -2,2.10 <sup>-4</sup> s + 0,807 R <sup>2</sup> = 56**
<b>20 a 30</b>	Al = 8,4 <sup>ns</sup>	Al = 8,4 <sup>ns</sup>
<b>30 a 40</b>	Al = 8,8 <sup>ns</sup>	Al = 8,8 <sup>ns</sup>

\*\* , \* e <sup>ns</sup> Significativo a 1 e 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

Observações de campo, em sistema de plantio direto no ecossistema de cerrado em solos ácidos, mostram que atualmente muitas áreas apresentam problemas com deficiência de manganês e zinco devido a calagem pesada aplicada em superfície sem incorporação, aumentando muito o pH na superfície indisponibilizando esse nutrientes para as plantas. Nesse sentido, com os resultados apresentados no presente trabalho, o silicato torna-se uma fonte mais propícia à aplicação em superfície sem incorporação. De acordo com Sherman et al. (1964) e Tamini; Matsuyama (1972) a aplicação de silicato em detrimento ao calcário proporciona aumento de pH e redução de Al tóxico, porém com a vantagem de não indisponibilizar micronutrientes catiônicos para as plantas, como o Mn, Zn, Cu e Fe.

Pelas equações apresentadas na Tabela 5 para o pH com as doses crescentes dos corretivos observa-se que o coeficiente angular da reta é maior para o carbonato (0,000227) em relação ao silicato (0,000143). Então, a cada 1 Mg a mais de cada corretivo há incremento de 0,227 e 0,143 unidades de pH para o carbonato e silicato, respectivamente. Mesmo não tendo análise estatística para auxiliar na discussão, observa-se que os valores de pH vinte dias após a incubação apresentavam o silicato mais eficiente que o carbonato em alterar o pH na camada de 0 a 10 e 10 a 20 cm (Tabela 2). Como relatado esse efeito deve-se à maior solubilidade do silicato. No entanto, após 100 dias observa-se que o carbonato apresenta maior incremento de pH com as doses crescentes do corretivo. A menor eficiência no incremento do pH pelo silicato 100 dias após a incubação pode ser justificada pela sua maior solubilidade no início e como o solo utilizado no estudo (Neossolo Quatzarênico órtico típico) apresenta baixo poder tampão de características químicas como o pH, por apresentar baixo teor de argila e matéria orgânica (Tabela 1), conseqüentemente, esse apresentará maior amplitude nos valores de pH com o passar do tempo. Tanto para mais, no caso do carbonato, por apresentar solubilidade mais lenta, quanto para mais em seguida para menos no caso do silicato que apresenta alta solubilidade e, após atingir o máximo, o solo não possui poder tampão para manter o pH e com a irrigação constante ocorrer a lixiviação de bases e assim, o pH voltar a reduzir.

Para os teores de Ca trocável no solo, observa-se que as doses crescentes de carbonato e silicato proporcionaram incremento com ajuste linear somente na camada de 0 a 10 (Tabela 5). No entanto, o carbonato mostrou-se mais eficiente em disponibilizar Ca no solo em relação ao silicato o que pode ser observado pelos coeficientes angulares das retas, ou seja, a cada 1 Mg de carbonato e silicato aplicado há um incremento de 3,18 e 1,6 mmolc dm<sup>-3</sup> de Ca, respectivamente (Tabela 5).

É fundamental, em regiões de solos ácidos e com baixa disponibilidade de Ca, que a aplicação do corretivo, além de aumentar o pH, disponibilize o máximo de Ca em solução. Semelhante ao observado para os valores de pH, o silicato mostrou-se mais eficiente em disponibilizar Ca quando a avaliação foi feita 20 dias após a incubação (Tabela 2) com valores máximos de até 57,0, 26,5 e 18,9  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  de Ca para a dose de 12.000  $\text{kg ha}^{-1}$ , nas camadas de 0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm, respectivamente, enquanto o carbonato proporcionou valores máximos de 40,9; 15,2 e 9,2  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  de Ca para a dose de 12.000  $\text{kg ha}^{-1}$ , nas camadas de 0 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm, respectivamente (Tabela 2). Ou seja, o silicato proporciona incremento de até 1,4; 1,7 e 2,0 vezes mais Ca trocável em relação ao carbonato. Além de proporcionar incremento nos teores de Ca trocável até 30 cm de profundidade, o silicato teve sua eficiência incrementando com maior profundidade com aumento de até 2 vezes nos teores de Ca, o que pode estar relacionado com a maior solubilidade do silicato em relação ao carbonato. No entanto, 100 dias após a incubação, como verificado para o pH, o carbonato apresenta eficiência maior que o silicato (Tabela 5).

As doses crescentes de carbonato e silicato proporcionaram incremento nos teores de Si trocável no solo na camada de 0 a 10 cm, respectivamente (Tabela 5). Na camada de 10 a 20 cm somente o silicato proporcionou incremento nos teores de Si trocável no solo (Tabela 5).

O incremento de Si na camada de 10 a 20 cm com a aplicação do silicato poder ser atribuída à maior solubilidade desse corretivo. O aumento nos teores de Si solúvel na profundidade de 0 a 10 cm com a aplicação do carbonato pode ser atribuído à solubilização de compostos de sílica com o aumento do pH e, ou, devido o aumento do pH no solo reduzir a capacidade dos sítios de adsorção de silício no solo, aumentando a sua concentração na solução Pereira et al. (2002).

No entanto, como o solo utilizado, Neossolo Quartzarênico órtico típico, possui baixos teores de argilo-minerais que conferem ao solo alta capacidade de adsorção de ânions, o mais provável é que em pH alcalino possa estar solubilizando alguns compostos de sílica, já que esses compostos aumentam sua solubilidade com o aumento do pH. O aumento na disponibilidade de Si no solo proporcionou aumento na absorção e acúmulo de Si pelas plantas (Figura 2 A, B e D). A absorção de Si pelas plantas pode trazer inúmeros benefícios como já relatado anteriormente.

Um das principais causas de redução da produção em solos ácidos é a toxidez por alumínio, que inibe o crescimento do sistema radicular, reduzindo a absorção de outros nutrientes e água e crescimento das plantas (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al.,



1997; MENGUEL; KIRKBY, 2001; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Na Tabela 5 observa-se que as doses crescentes do carbonato e do silicato apresentaram redução dos teores de Al trocável do solo, com ajuste linear, nas camadas e 0 a 10 e 10 a 20 cm. Ao contrário do observado para os valores de pH e Ca trocável no solo, para os teores de Al trocável 20 dias após a incubação dos corretivos não se observa diferença numérica entre os corretivos (Tabela 2). Efeito esse que se manteve na avaliação realizada no período de florescimento da soja, 100 dias após incubação dos tratamentos (Tabela 5).

De maneira geral, o solo utilizado apresenta pH ácido, baixa disponibilidade de Ca e Si para as plantas e alto teor de Al trocável e saturação por alumínio (Tabela 1). Por ser um solo arenoso a correção do pH, fornecimento de Ca, Si e redução do Al tóxico na superfície e em profundidade é fundamental, pois favorecem o crescimento do sistema radicular das plantas reduzindo a possibilidade de perdas por estresse hídrico em casos de veranicos, comuns no ecossistema de cerrado. Assim são necessário estudos que viabilizem o uso de corretivos e fertilizantes que possibilitem a correção do solo em profundidade. Com o corte da cana de forma mecanizada há o acúmulo de uma grande quantidade de palha na superfície do solo, até 14 Mg ha<sup>-1</sup> (Campos, 2003). Visando a manutenção da palha na reforma das áreas de cana, a soja é cultivada sobre a palha sem revolvimento do solo e conseqüentemente não incorporando os corretivos. Assim, faz-se necessário o uso de corretivos que possam apresentar melhor eficiência para corrigir o solo em profundidade.

A Figura 3 apresenta os valores de pH, Ca, Si e Al trocáveis no solo nas profundidades de 0 a 10; 10 a 20; 20 a 30 e 30 a 40 cm com a aplicação superficial de doses crescentes de carbonato e silicato de cálcio, avaliados no período de florescimento da soja, ou seja, 100 dias após a incubação.

Avaliando o efeito dos corretivos nas diferentes profundidades, observa-se que aos 100 dias após a incubação, o carbonato e o silicato foram eficientes em reduzir o pH somente na camada de 0 a 10 cm (Figuras 3 A e B, respectivamente). Avaliando as doses dos corretivos, observa-se que na profundidade de 0 a 10 cm, nas doses de 0 e 1500 kg ha<sup>-1</sup>, não foi verificada diferença entre esses. Nas doses de 3000, 6000 e 12000 kg ha<sup>-1</sup> o carbonato mostrou-se mais eficiente em aumentar o pH do solo em relação ao silicato (Figura 3 A e B). Esses resultados corroboram com Louzada (1987) e Alcarde; Rodella (2003), observando que o as escórias de siderurgia (fontes de silicato de cálcio) foram menos eficientes que o calcário na elevação do pH do solo. Os mesmos autores atribuem esse efeito ao valor neutralizante (VN) mais baixo na escória (86%) quando comparado com o calcário (100%). Louzada (1987); Ando et al. (1998) e Alcarde; Rodella (2003), relatam que a baixa eficiência das

escórias de siderurgia em relação ao calcário pode estar relacionada a presença de contaminantes como óxi-hidróxidos de ferro e alumínio que formam uma película em torno das partículas do corretivo, devido provavelmente à alcalinidade em torno desta partícula no momento da hidrólise. Abaixo de 10 cm de profundidade não foi verificada diferença entre os corretivos (Figura 3 A e B).

O carbonato, em dose igual e, ou, acima de 3000 kg ha<sup>-1</sup>, e o silicato, somente na dose de 12.000 kg ha<sup>-1</sup>, foram eficientes em aumentar os teores de Ca trocável no solo na camada de 0 a 10 cm (Figuras 3 C e D, respectivamente). Na camada de 0 a 10 cm, nas doses de 0 e 1500 kg ha<sup>-1</sup>, não foi verificada diferença entre os corretivos. Nas doses de 3000, 6000 e 12000 kg ha<sup>-1</sup> o carbonato mostrou-se mais eficiente em aumentar os teores de Ca no solo em relação ao silicato (Figura 3 C e D).

Comparando as fontes de carbonato e silicato utilizadas no presente projeto (Carbonato de Cálcio p.a. 99% - 55% de CaO e Silicato de Cálcio p.a. - 16% de CaO e 64% de SiO), para cada 1 kg de cada corretivo adiciona-se 396 e 115 g de Ca para o carbonato e silicato, respectivamente. Isso explica o fato do carbonato disponibilizar mais cálcio que o silicato, como verificado na Tabela 5 e Figuras 3 C e D. Em geral, os silicatos de cálcio comerciais, escórias de siderurgia, também apresentam menores concentrações de CaO que os calcários. Assim, resultados semelhantes foram obtidos por diversos pesquisadores quando utilizado fontes comerciais (FORTES, 1993; PRADO; FERNANDES, 2000a e b).

Devido à maior solubilidade dos silicatos em comparação com os carbonatos, esperava-se maior translocação de cálcio para camadas abaixo de 10 cm. No entanto, abaixo de 10 cm de profundidade não foi verificada nenhuma influência do silicato e carbonato e, também, nenhuma diferença entre os corretivos (Figuras 3 C e D). Em áreas de sistema de plantio direto, espera-se que os ácidos orgânicos de cadeia curta, oriundos da decomposição da palhada depositada na superfície formem complexos organo-metálicos com as bases do solo, translocando-os em profundidade (SANTOS, 1997). No entanto, 100 dias de incubação dos corretivos e palhada ainda não foi suficiente para observar o efeito da decomposição da palhada sobre a movimentação de bases do solo, como observado por Santos (1997), Franchini et al. (1999) Franchini et al. (2001) e Amaral et al. (2004).

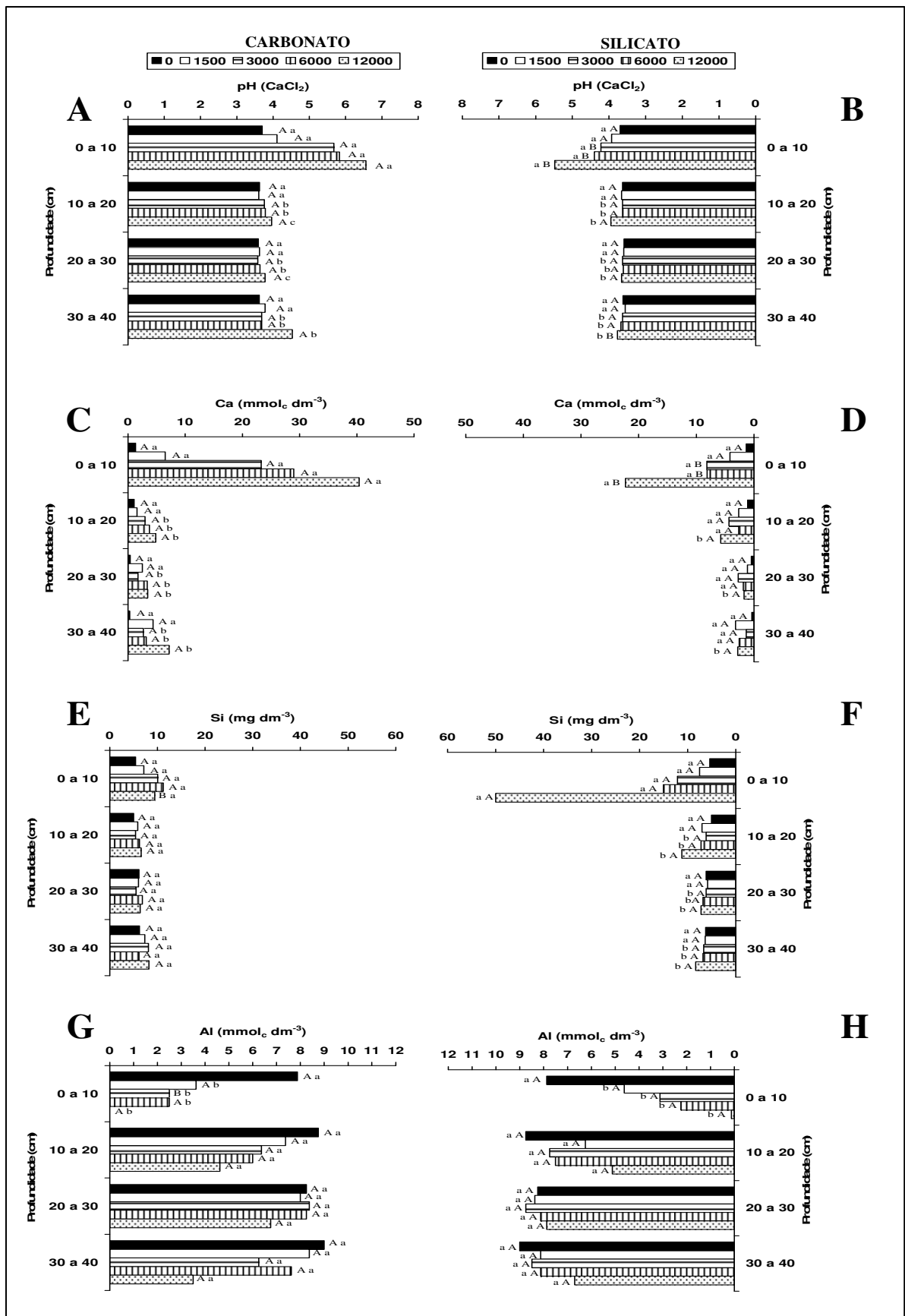


Figura 3. pH (A e B) e Ca (C e D), Si (E e F) e Al (G e H) trocáveis do solo em diferentes profundidades com a aplicação superficial de doses crescentes de carbonato de cálcio e silicato de cálcio, respectivamente. Letras maiúsculas diferem os tratamentos entre os corretivos para a mesma profundidade e mesma dose (Scott Knott 5%). Letras minúsculas diferem os tratamentos entre profundidades para a mesma dose e mesmo corretivo (Scott Knott 5%).

Como esperado, a aplicação do silicato proporcionou incremento significativo nos teores de Si na camada de 0 a 10 cm de profundidade (Figura 3 F). No entanto somente a dose de 12000 kg ha<sup>-1</sup> de silicato apresentou incremento significativo nos teores de Si no solo na camada de 0 a 10 cm, diferindo do carbonato. A ausência de diferença significativa entre o carbonato e o silicato para as doses abaixo de 12000 kg ha<sup>-1</sup> na camada de 0 a 10 cm pode estar relacionado ao fato do aumento de pH do solo com a aplicação do carbonato solubilizar alguns complexos de sílica, ou mesmo devido a redução dos teores de Al em solução, redução à adsorção do Si, aumentando a disponibilidade de Si no solo (Ando et al., 1998; Pereira et al., 2002). Abaixo de 10 cm de profundidade não foi verificado incremento nos teores de Si trocável no solo em nenhuma das doses estudadas (Figura 3 F). Esperava-se incremento nos teores de Si em profundidade devido à maior solubilidade dos silicatos.

Com a aplicação das doses de carbonato e de silicato, observa-se na Figura 3 G e H, que houve redução dos teores de Al trocável no solo na camada de 0 a 10 cm, não apresentando diferença entre os corretivos. Na camada de 10 a 20 cm de profundidade observa-se que, com o aumento das doses de ambos os corretivos reduziram os teores de Al trocável do solo (Tabela 5); no entanto, esses valores não diferiram estatisticamente dos obtidos nas camadas de 20 a 30 e 30 a 40 cm de profundidade (Figura 3 G e H).

De maneira geral, a principal diferença entre os corretivos foi a maior disponibilização de Ca no solo pelo carbonato e de Si pelo silicato (Tabela 5 e Figuras 3 C, D, E e F). As alterações nos teores de Al trocável do solo foram semelhantes entre os corretivos (Tabela 5 e Figuras 3 G e H). Ambos os corretivos aumentaram o pH, no entanto o carbonato foi mais eficiente (Tabela 5 e Figuras 3 A e B), com maior incremento de unidade de pH para cada kg de corretivo aplicado. Em geral, o efeito da aplicação superficial de ambos os corretivos restringiram-se à camada de 0 a 10 cm de profundidade.

Como já discutido, a análise realizada após a incubação dos tratamentos (Tabela 2) apresenta resultados e comportamentos diferente do carbonato e silicato em relação aos valores de pH, Ca, Si e Al trocáveis avaliados no período de florescimento da soja, 100 dias após a incubação. Esse resultado pode ser atribuído à diferença de solubilidade dos corretivos estudados, que devem ser avaliados com mais detalhe em experimentos futuros.

A Tabela 6 mostra a comparação do tratamento sem corretivo com palha vs. o tratamento adicional, sem corretivo e sem palha. A análise de contraste mostra que não houve influência da manutenção da palha da cana em superfície. Mesmo não apresentando diferença nas propriedades químicas do solo avaliado, a soja apresentou maior crescimento quando

cultivada sem aplicação de corretivo, mas com a manutenção da palhada da cana em superfície em relação ao tratamento sem a palhada.

Oliveira (1999) relata que 85, 44 e 30% do K, Ca e Mg, respectivamente, da palhada da cana-de-açúcar foi liberado um ano após a aplicação do resíduo. Os ácidos orgânicos, oriundos da decomposição da matéria orgânica do solo, apresentam grande importância na complexação do alumínio do solo, reduzindo sua fitotoxidez para as plantas (TAN, 1986; SANTOS, 1997; FRANCHINI, 1999; PAVAN, 1999), sendo essa complexação mais forte que a complexação com ligantes aniônicos inorgânicos (RITCHIE et al., 1988). O tempo de avaliação, 100 dias após a incubação, provavelmente não foi suficiente para se verificar a influência da palhada sobre as propriedades químicas do solo.

Tabela 6. Contraste entre os tratamentos sem corretivo com palha vs. sem palha.

Profundidade (cm)	Variáveis			
	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Si (mg dm <sup>-3</sup> )	Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
<b>0 a 10</b>	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-1,43 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
<b>10 a 20</b>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
<b>20 a 30</b>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
<b>30 a 40</b>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>

\*\*,\* e <sup>ns</sup> Significativo a 1 e 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

Esses resultados demonstram que a manutenção da palha da cana na superfície em solo arenoso, como o utilizado no presente trabalho, pode auxiliar no manejo químico do solo. Salet, (1994; 1998) e Salet et al. (1999), afirmam que em sistema de plantio direto, a elevada concentração de ácidos orgânicos, oriundos da palhada, contribui efetivamente na complexação de grande parte do alumínio. Franchini et al. (1999) relatam que 90% do alumínio em solução num Latossolo ácido do Paraná estava complexado com ácidos orgânicos.

## 6 CONCLUSÕES

As doses crescentes de ambos os corretivos proporcionaram aumento de produção de matéria seca de folha, caule e parte aérea total da soja, sendo a máxima produção de MSF obtida com 7500 e 7000 kg ha<sup>-1</sup>, de MSC obtida com 7500 e 10000 kg ha<sup>-1</sup> e de MST obtida com 6875 e 7143 kg ha<sup>-1</sup> de carbonato e silicato, respectivamente.

A soja cultivada sem aplicação de corretivo apresentou maior crescimento no tratamento com a palhada da cana.

A aplicação de silicato de cálcio aumentou a disponibilidade de Si no solo e, conseqüentemente, as plantas desses tratamentos absorveram e acumularam mais Si.

A aplicação de ambos os corretivos em superfície foi eficiente na redução do Al trocável do solo e aumento do pH e do Ca trocável do solo na camada de 0 a 10 cm.

Abaixo de 10 cm de profundidade foi verificada a influência dos corretivos somente na redução do Al trocável na camada de 10 a 20 cm.

Nos tratamento sem corretivo a aplicação da palhada da cana não proporcionou alteração dos atributos químicos do solo avaliados em relação ao tratamento sem palha.

## REFERÊNCIAS

- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. The effects of silicon in cucumber plants grown in recirculation nutrient solution. **Annals of Botany**, London, v.58, p.343-351, 1986
- AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.J.; SHI, Q.H. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescent and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress, **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.27, p. 2101 – 2115, 2004.
- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 62p. (Boletim técnico 6).
- ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. (ed). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York, John Wiley & Sons, 1977. 467p.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, L.E.; BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um latossolo: Efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.299-304, 1993.
- AMARAL, A.S. do; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade de produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.1, p.115-123, 2004.
- AMARAL, A.S. ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.Cl. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.29, p.1351-1358, 1994.
- ANDO, J.; OWA, N.; ASANO, M. Studies on structure, solubility and agronomic response of industrial slag. Effects of aluminium on solubility, and agronomic response of slags. **Japanese Journal Soil Science Plant Nutrition**, Tokio, v.59, p.27-32, 1998.
- BARNETTE, R.M. Synthetic calcium silicate as source of agricultural lime: III A comparison of the influence of synthetic calcium silicate with other forms of lime on the soil reaction. **Soil Science**, Baltimore, v.73, p. 75-82, 1952.
- BASSO, C. J. **Épocas de aplicação de nitrogênio para milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto**. Santa Maria, 1999. 56 p. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica de solos), Universidade Federal de Santa Maria.
- BÉLANGER, R.R.; BOWEN, P.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G.; Soluble silicon: its role in crops and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, Saint Paul, v.79, p.329-336, 1995.

BELLINGIERI, P. A. **Silício**: relação solo planta. Jaboticabal, 1979. 22p. Monografia (Pós-Graduação em produção vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; REGO, C.I. Calagem e gessagem em citricultura. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, IV. 1996, Bebedouro. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1996. p. 115-129.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A; FONSECA A.F. Calagem na Superfície em Sistema de Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p.161-169, 2000.

CAMBRI, M.A.; ALLEONI, L.R.F. Calagem superficial e produção de soja sob plantio direto no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.p.13-14.

CAMPBELL, P.G.C.; BISSON, M.; BOUGIE, M.B.R.; TESSIER, A.; VILLENEUVE, J.P. Speciation aluminum in acid freshwaters. **Analytical Chemistry**, Washington, DC. v.55, n.14, p.2246-2252, 1983.

CARDOSO, K. **Aplicação de silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens***. 2003. 48f. Monografia (Graduação em agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

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.

CHÉRIF, M; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Londres, v. 41, p. 411-25, 1992a.

CHÉRIF, M; MENZIES, J.G.; BENHAMOU, N.; BÉLANGER, R.R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Londres, v. 41, p. 371-85, 1992b.

CINTRA, F.L.D. Efeito de diferentes coberturas vegetais na alteração de propriedades físicas de solos cultivados com bananeira. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1983. p. 16-17.

COSTA, M.A; CORÁ J. E.; FERNADES, C.; MARCELO, A.V. Aplicação superficial de calcário no solo cultivado com soja em sistema de semeadura direta na região de Jaboticabal - SP In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.,2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.p.9.

CRANE, F.H.A. Comparison of some effects of blast furnace slag and of limestone on acid. Soil. **Journal of the American Agronomy Society**, Baltimore, v.22, p.968-973, 1930.



DERPSH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.20, n.7, p. 761-733, 1985.

DIXON, R.A. The phytoalexin response: elicitation, signaling and control of host gene expression. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 61, p. 239-291, 1986.

DRISCOLL, C.T. A procedure for the fractionation of aqueous aluminum in dilute acidic water. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, New York, v.16, p.267-283, 1984.

ELAWAD, S.H., GREEN, Jr ,V.E.. Silicon and the rice plant environment: A review of recent research. **Revista IL Riso**, Milão, v.28, p.235-253, 1979.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária – Brasília-DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 2a ed., Rio de Janeiro. 1997. p. 27-32.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceeding of the National Academy Science**, Washington, DC, v.91, p.11-17, 1994.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora Planta. 2006. 403p.

ETHANOL BRASIL – **Ethanol Brasil**. Disponível em:<<http://ethanolbrasil.blogspot.com/2008/03/cooperados-alternam-soja-e-cana.html>>. Acesso em 05 dez. 2008.

FORTES, J.L.O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. Viçosa, 1993. 66p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa.

FOSKET, D.E. **Plant growth and development: a molecular approach**. San Diego: Academic Press, 1994. 580p.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MYAZAWA, M. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.533-542, 1999.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MYAZAWA, M. Rapid transformation of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant and Soil**, The Hague, v.231, p.55-63, 2001.

FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R. do; RESENDE, A.V. de; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.

GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought, **Plant Science**, Limerick, v.169, p.313-321, 2005.

GONTIJO, I. **Características físicas e químicas de diferentes classes de solos relacionadas com a disponibilidade do silício para as plantas**. Uberlândia, 2000, 44p. Monografia (Graduação em agronomia), Universidade Federal de Uberlândia.

GOYAL, R.S. Sieving of ground water silica by soils. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, New Delhi, v.34, p.353-357, 1984.

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

HAHLBROCK, K.; SCHEEL, D. Physiology and molecular biology of phenylpropanoid metabolism. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.40, p.347-369, 1989.

HARTWIG, E.E. Registration of near isogenic soybean germoplasm lines D68-0099 and D68-0102, differing in ability to form nodules. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 822, 1994.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K.A. Effect of iron and aluminum oxides on silica in solution in soils. **Nature**, London, v.18, p.852-853, 1963.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silicon in soils, plants and animals, **Advances in Agronomy**, San Diego, v.19, p.107-149, 1967.

JULIATTI, F.C.; RODRIGUES, F. de A; KORNDÖRFER, G.H.; SILVA, O de A; PEIXOTO, J.R. Efeito do silício na indução de resistência a *Diaporthe phaseolorum f.sp. meridionalis* em cultivares de soja com diferentes níveis de resistência. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v.21 (suplemento), 1996.

KORNDÖRFER, G. H.; COLOMBO, C.A.; LEONE, P.L.C. **Termofosfato como fonte de silício para a cana-de-açúcar**. STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v.19, n.1, p.34-36, 2000.

KORNDORFER, G.H. Elementos benéficos. IN: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.355-374.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.635-41, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CARMARGO, M.S. de. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. UFU/ICIAG, 2002. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico 01). 23p.

KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34p. (Boletim Técnico, 2).

LIMA SOBRINHO, R. R. de ; ARAÚJO, J. L. ; RODRIGUES, T. M. ; TREVISAN, D. ; RODRIGUES, C. R. ; FAQUIN, V. Crescimento da alface americana em solução nutritiva sob diferentes concentrações e formas de aplicação de silício. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Resumos**. Lages-SC : UDESC, 2004(a).

LIMA SOBRINHO, R. R. de ; RODRIGUES, C. R. ; RODRIGUES, T. M.; TREVISAN, D. ; FAQUIN, V. Crescimento inicial da alface crespa em solução nutritiva sob diferentes concentrações de silício e formas de aplicação. In: XIII Congresso do Pós Graduandos da UFLA, 2004, Lavras-MG. **Resumos XIII CONGRESSO DO PÓS GRADUANDOS DA UFLA**. Lavras : APG, 2004(b).

LINDSAY, W.L. **Chemical Equilibria in Soil**. New York: John Wiley , Sons, 1979. 449p.

LINDSAY, W.L. Inorganica phase equilibria of micronutrients in soils. IN: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.) **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America. 1972. p.41-57.

LOUZADA, P.T.C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. Viçosa, 1987. 52 p. Tese (“Magister Scientiae”/ Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.

LUZ, J. M. Q. ; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDORFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, p. 295-300, 2006.

MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. In: MALAVOLTA, E. (Ed.) **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. cap.5, p.232-245.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2a ed. New York: Academic Press Inc., 1995. 887p.

McCLURE, J.W. Physiology and functions of flavonoids. In: HARBORNE, J.B.; MABRY, T.J.; MABRY, H. (ed.). **The flavonoids**. San Diego: Academic Press, 1975. p. 990-1055.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in Soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.15, p.339-397, 1963.

MENGEL K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MENZIES, J.G.; BELANGER, R.R. Recent advances in cultural management of diseases of greenhouse crop. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 18, p. 186-93, 1996.

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; SAMUELS, A.L. , The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Molecular Biology and Plant Pathology**, Palo Alto, v. 39, p. 403-414, 1991.

MESSIAS, L. Plantio direto de soja sob a palha de cana vem sendo testado com sucesso. **Jornal Cana**. [on line], Disponível em: <<http://www.canaweb.com.br>> . Acesso em 15 set. 2002.

MORGAN-JONES, G. The *Diaporthel Phomopsis* complex: taxonomic considerations. In: World izesearch conference, 4, Buenos Aires, 1989. **Proceedings**. Buenos Aires: Associacion Argentina de la Soya, v. 4, p, 1694-706, 1989.

NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004. **Palestras...** Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM.

NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, L.; LEMES, E.M.; KAHLAU, J. Effect of calcium silicate and calcium carbonate on *Cercospora sojina* incidence in soybean. **Anais...**In: III Silicon in Agriculture Conference: 22-26, October, 2005. .

NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, L. Efficiency of Calcium Silicate and Carbonate in Soybean Disease Control. **Journal of Plant Nutrition**, New York, 29: 2049–2061, 2006.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; LEITE, F.P.; TEIXEIRA, J.L.; LEAL, P.G.L. Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica. **Pains**. UFV, Viçosa, 1993.

OLIVEIRA, A.C.; HAHNE, H.; BARROS, N.F.; MORAIS, E.J. Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS E URBANOS EM FLORESTAS. **Volume de Resumos**. Botucatu:, 1994, p.77-96.

PAVAN, M.A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de ions no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, Disponível em: <<http://www.plantiodireto.com.br>>. Acesso em 2006.

PAVAN, M.A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de íons no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**. [on line], Disponível em: <<http://www.plantiodireto.com.br>> Acesso em 25 fev. 2001.

PAXTON, J.D. Assays for antifungal activity. **Methods of Plant Biochemistry**, v.6, p. 33-46, 1991.

PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; MARTINS, M.R. Comportamento do silicato de cálcio em quatro solos de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.,2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.p.152.

PEREIRA, J.E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno**. Viçosa, 1978. 84p. Tese (“Magister Scientiae”/Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

PETERS, N.K.; VERMA, D.P.S. Phenolic compounds as regulators of gene expression in plant-microbe interaction. **Molecular Plant Microbe Interactions**, Saint Paul, v.3, p.4-8, 1990.

PETREIRE, C. Alerta sobre o uso de calcário. **Revista Plantio Direto**. [on line], Disponível em: < <http://www.plantiodireto.com.br> >. Acesso em 25 fev. 2001.

PIAU, W.C. **Viabilidade do uso das escórias como corretivos e fertilizantes**. Piracicaba, 1991, 99p. Dissertação (Mestrado em Ciências/Energia Nuclear na Agricultura) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.739-744, 2000<sup>a</sup>

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. **Eficiência da escória de siderurgia em Areia Quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso**. STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.18, n.4, p.36-39, 2000b.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil – Estudos na cultura da cana-de-açúcar**. Funep, Jaboticabal-SP, 2001, 68p.

QUAGGIO, J.A. Conceitos modernos sobre calagem e adubação para citros no estado de São Paulo. **Laranja**, Cordeirópolis, v.13, n.2, p.457-488, 1992.

QUAGGIO, J.A. Métodos de aplicação do calcário em culturas anuais e perenes. In: SIMPÓSIO SOBRE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA AGRICULTURA, 1986, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, p.21, 1986.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v.32, n.11, p.223-231, 1973.

RAO, A.S. Root flavonoids. **Botany Review**, Palo Alto, v.56, p.1-84, 1990.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. CFSEMG-UFV, 1999. 359p.

RIBEIRO, G.A.A.; SILVA, L.A.; GUEDES, C.A.B.; LIMA, E. Alterações químicas do solo sob cultivo de cana-de-açúcar sem queima. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.,2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.12, 2002.

RITCHIE, G.S.P.; NELSON, M.P.; WHITTEN, M.G. The estimation of free aluminum and the complexation between fluoride and humate anions for aluminum. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, p. 857-871.

RODRIGUES, C. R. ; KORNDÖRFER, G. H. Efeito do silicato de sódio no crescimento inicial do milho e na redução do alumínio trocável do solo e de sua absorção. In: XIII CONGRESSO DO PÓS GRADUANDOS DA UFLA, 2004, Lavras-MG. **Resumos XIII CONGRESSO DO PÓS GRADUANDOS DA UFLA**. Lavras-MG : APG, 2004.

SALET, R.L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. Porto Alegre, UFRGS, 1994. 110f. (Dissertação de Mestrado).

SALET, R.L. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto**. Porto Alegre, UFRGS, 1998. 109f. (Tese de Doutorado).

SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, Cruz Alta, v.1, n.1, p.9-13, 1999.

SAMUELS, L.; GLASS, A.D.M.; EBRET, D.L.; IMNZIES, J.G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, Limerik, v. 14, p. 485-92, 1991.

SANTOS, J.C.F. **Mobilização de cálcio e alumínio em solos ácidos por compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais**. Piracicaba, 1999. 72 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

SAVANT, N.K.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H. , DATNOFF, L.E. 1999. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A review. **Journal. Plant Nutrition**. New York, v.22, n.12, p.1853-1903.

SHERMAN, G.D.; DIAS, I.P.S.; MONTHEITH, N.H. Calcium silicate, a new liming material. **Hawaii Farm Science**, Honolulu, v.13, p.8-9, 1964.

SILVA, J.A. **Plant mineral nutrition**. Yearbook of Science and Technology. McGraw-Hill Book Co., Inc.,1973

SILVA, M. A. C. **Aplicação superficial de calcário no solo cultivado com laranjeira pêra em produção**. Jaboticabal, 2002. 67p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

TAMINI, Y.N.; MATSUYAMA, D.T. The effect of calcium silicate and calcium carbonate on growth of sorghum. **Agriculture Digest**, v.25, p.37-44, 1972.

TAN, K.H. Degradation of soil minerals by organic acids. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Ed) **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Soil Science Society of America, Madison, 1986. p.1-27.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. Mcmillan Publishing Company, New York,1985. 754p.

VELOSO, C.A.C., BORGES, A.L., MUNIZ,A.S.,VEIGAS,I.A.DE J.M.I. Efeitos de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.49, n.1, p.123-128, 1992.