



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL

RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO FONTE DE SILÍCIO PARA A
CULTURA DO MILHO

PAULO HENRIQUE DE LIMA

ORIENTADOR: PROF^a. Dr^a. ANASTÁCIA FONTANETTI

CO-ORIENTADOR: PROF. Dr. MÁRCIO ROBERTO SOARES

CO-ORIENTADOR: PROF. Dr. GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL

Araras

2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

L732ra

Lima, Paulo Henrique de.

Resíduos agroindustriais como fonte de silício para a cultura do milho / Paulo Henrique de Lima. -- São Carlos : UFSCar, 2012.

47 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Agricultura. 2. Bagaço de cana. 3. Torta de filtro. 4. Cinza de casca de arroz. I. Título.

CDD: 630 (20^a)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DE

PAULO HENRIQUE DE LIMA

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 21 DE SETEMBRO de 2012.

BANCA EXAMINADORA:

Anastácia Fontanetti

Prof.^a. Dr.^a. ANASTÁCIA FONTANETTI

ORIENTADORA

PPGADR/UFSCar

Patrícia Marlucci da Conceição

Pesq. Dr.^a PATRÍCIA MARLUCI DA CONCEIÇÃO

IAPAR-PR

Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad

Prof.^a. Dr.^a. MARIA LEONOR RIBEIRO CASIMIRO LOPES ASSAD

PPGADR/UFSCar

Ao meu pai, Paulo Donizetti de Lima,
por todos os ensinamentos.

À minha mãe, Maria das Graças Silva Lima,
por toda a força na qual me espelho. E aos meus irmãos
Daniel e Ana Rita por tudo que representam

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Sol, que com sua energia faz a vida surgir em nosso planeta e ao fogo sagrado que com sua força renova a vida.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal (CAPES) pela bolsa concedida.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a Anastácia Fontanetti por todos os ensinamentos e generosidade ao me guiar pelos caminhos da academia.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Márcio Roberto Soares pelo apoio e ótimas sugestões.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer pela inspiração com seus trabalhos sobre silício na agricultura.

A minha tia Maria Darcy de Lima pela sensibilidade com as plantas de poder e que sempre me aguçou a enveredar pelos caminhos fantásticos do reino vegetal.

A Nádia pela ajuda com o Latossolo Vermelho Escuro e companheirismo incondicional. Aos amigos da COMUNA, Celso, Tulio, Tati, Danúbia, Ignácio, Alejandro, Thiago, Cícero e todos os agregados pela convivência maravilhosa, o incrível aprendizado e as acaloradas discussões sobre Agroecologia e sobre a vida.

Aos Anacardiáceos da MANGA ROSA, Pietro (Beatle Juice), Lucas (Xarras), Felipe (Potó) e Carol pela harmoniosa convivência.

Ao pessoal do Laboratório de Análise de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia – UFU por todo o suporte na realização das análises de silício.

A todos do Grupo de Pesquisa-ação em Agroecologia e ao Prof. Dr. Manoel Baltasar Baptista da Costa pelo excelente espaço de integração acadêmica e todos os caminhos ensinados na extensão universitária.

SUMÁRIO

| | Páginas |
|---|----------------|
| ÍNDICE DE TABELAS | i |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ii |
| RESUMO | iii |
| ABSTRACT | iv |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS..... | 3 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA..... | 4 |
| 3.1 O Enfoque Agroecológico na Agricultura | 4 |
| 3.2 O Silício no Solo | 6 |
| 3.3 O Silício na Planta..... | 7 |
| 3.4 Resíduos Agroindustriais | 13 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 15 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 20 |
| 5.1 Diâmetro de colmo, altura e massa das plantas secas de milho..... | 20 |
| 5.2 Acúmulo de silício nas folhas e nos colmos das plantas de milho . | 24 |
| 5.3 Concentração dos macronutrientes N, P, K, Ca Mg e S nas folhas de milho e interações com as doses e fontes de Si | 29 |
| 6- CONCLUSÕES..... | 38 |
| 7- BIBLIOGRAFIA | 39 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | Pag. |
|--|------|
| Tabela 1. Culturas que apresentam efeitos benéficos do Si no controle de pragas (Rodrigues et al. 2011)..... | 11 |
| Tabela 2. Culturas que apresentaram efeitos benéficos do Si no controle de patógenos (Rodrigues et al. 2011)..... | 12 |
| Tabela 3. Quantidade de Si aplicada e análise química do solo anterior à calagem..... | 16 |
| Tabela 4. Concentração dos nutrientes nos resíduos orgânicos agroindustriais em função das doses utilizadas..... | 17 |
| Tabela 5. Estimativas dos contrastes entre o tratamento testemunha e as fontes de silício para altura e diâmetro das plantas de milho..... | 22 |
| Tabela 6. Médias dos teores de Si na folha e no colmo de milho em função das fontes de SiO ₂ | 25 |
| Tabela 7. Estimativas dos contrastes entre as fontes de SiO ₂ e a testemunha e dos contrastes entre os tratamentos casca-de-arroz carbonizada (CAC) <i>versus</i> o tratamento silicato de cálcio (SC) na dose de 700 Kg ha ⁻¹ para os teores de Si nas folhas e nos colmos do milho..... | 28 |
| Tabela 8. Estimativas dos contrastes entre as médias dos teores de N nas folhas de milho adubadas com os resíduos agroindustriais e a testemunha..... | 30 |
| Tabela 9. Estimativas dos contrastes entre as médias dos teores de P nas folhas de milho adubadas com os resíduos agroindustriais e a testemunha.... | 32 |
| Tabela 10. Estimativas dos contrastes entre as médias dos teores de K nas folhas de milho adubadas com os resíduos agroindustriais e a testemunha.... | 34 |
| Tabela 11. Estimativas dos contrastes entre as médias dos teores de Mg e S nas folhas de milho adubadas com os resíduos agroindustriais e a testemunha, aos 75 dias após a emergência..... | 36 |
| Tabela 12. Média dos teores de nutrientes foliar para cada tratamento em comparação com os valores de referência (VR) para a análise de tecido foliar da cultura do milho segundo Ribeiro et al. (1999)..... | 38 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pag. |
|---|------|
| Figura 1. Transformações e processos mais importantes que influenciam a concentração de silício na solução do solo (Lima Filho et al.,1999)..... | 7 |
| Figura 2. Diagrama do papel fisiológico do Si na planta de arroz. Adaptado de Lima Filho et al. (1999)..... | 10 |
| Figura 3. Diâmetro de colmo aos 75 dias após a emergência das plantas de milho em função das doses de SiO ₂ | 21 |
| Figura 4. Teor de silício na folha de milho em função das doses de SiO ₂ , aos 25 dias após emergência..... | 24 |

RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO FONTE DE SILÍCIO PARA A CULTURA DO MILHO

Autor: PAULO HENRIQUE DE LIMA

Orientador: Prof^a. Dr^a. ANASTÁCIA FONTANETTI

Co-orientador: Prof. Dr. MÁRCIO ROBERTO SOARES

Co-orientador: Prof. Dr. GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER

RESUMO

Os resíduos agroindustriais possuem elevado potencial para fornecimento de silício (Si) e outros nutrientes para as culturas agrícolas. Objetivou-se, com esse trabalho, avaliar o fornecimento de silício por resíduos orgânicos agroindustriais, e avaliar a influência desse nutriente no acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre(S) na planta de milho. Foi analisado o acúmulo de silício nas folhas e nos colmos da planta e o efeito dessas fontes no diâmetro do colmo, na altura e na massa da planta de milho seca, assim como o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de milho proporcionado pelos resíduos agroindustriais e pelas doses de silício utilizadas. O experimento foi instalado em casa de vegetação no delineamento experimental inteiramente casualizado (4x3) + 1. Foram avaliadas três fontes orgânicas agroindustriais (cinza de bagaço de cana-de-açúcar, torta de filtro rotativo de cana-de-açúcar e casca-de-arroz carbonizada), e para o fornecimento de silício também avaliou-se a fonte mineral (silicato de cálcio P.A.); três dosagens de SiO₂(175 Kg ha⁻¹, 350 Kg ha⁻¹ e 700 Kg ha⁻¹) e o tratamento adicional (testemunha), o qual não recebeu SiO₂. As fontes e doses de SiO₂ não influenciaram a massa das plantas secas de milho. Entretanto, o acréscimo das doses de SiO₂ proporcionou o aumento no diâmetro de colmo da planta de milho. A casca-de-arroz carbonizada mostrou-se mais eficiente entre todos os tratamentos no fornecimento de Si para a cultura do milho. O fornecimento de Si favoreceu a absorção e conseqüente acúmulo de P e K pela planta de milho. Não se observou relação entre o fornecimento de Si e a absorção de Mg e S pela planta de milho. Por fim, não houve relação entre o acúmulo de Si e a redução do N foliar nas plantas de milho.

Palavras chaves: *Zea mays*, casca-de-arroz carbonizada, cinza de bagaço de cana-de-açúcar, torta de filtro rotativo de cana-de-açúcar.

AGROINDUSTRIAL SUBPRODUCTS AS SILICON SOURCE TO CORN CROP

Author: PAULO HENRIQUE DE LIMA

Adviser: Prof^a. Dr^a. ANASTÁCIA FONTANETTI

Co-adviser: Prof. Dr. MÁRCIO ROBERTO SOARES

Co-adviser: Prof. Dr. GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER

ABSTRACT

The agro-industrial residues have great potential for providing silicon (Si) and other nutrients for crops. The objective of this work to assess the supply of silicon for organic waste agribusiness, and to evaluate the influence of this nutrient in the accumulation of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S) in maize. We analyzed the accumulation of silicon in the leaves and stems of the plant and the effect of these sources in stem diameter, the height and mass of dry corn plant, as well as the accumulation of N, P, K, Ca, Mg and S in corn leaves provided by agro-industrial residues and by levels of silicon used. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design (4x3) + 1. We evaluated three sources organic agribusiness (bagasse ash from sugar cane filter cake rotary sugarcane and rice hulls), and for the supply of silicon also evaluated the mineral source (calcium silicate PA); three strengths of SiO₂ (175 kg ha⁻¹, 350 kg ha⁻¹ and 700 kg ha⁻¹) and additional treatment (control), which received no SiO₂. The sources and doses of SiO₂ did not affect the mass of dried corn plants. However, the addition of SiO₂ dose provided an increase in the diameter of stem of the maize plant. The rice hulls was more efficient among all treatments in Si supply to the corn crop. The supply of Si favors the absorption and consequent accumulation of potassium and phosphorus from the corn plant. There was no relationship between the supply of Si and Mg and S uptake by corn plant. Finally, there was no relationship between the accumulation of Si and the reduction of leaf N in corn plants.

Key Words: *Zea mays*, carbonized rice husks, bagasse ash from sugar cane, filter cake rotary sugarcane.

1 INTRODUÇÃO

O milho é um cereal de grande versatilidade quanto às formas de uso, essas vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. No Brasil, a destinação desse cereal para alimentação animal varia entre 70 a 80% ao ano do total produzido (DUARTE et al., 2011), fato que torna o milho um dos mais importantes produtos do setor agrícola brasileiro.

Segundo dados do último Censo Agropecuário, realizado no ano de 2006, 94% dos produtores de milho se caracterizam como agricultores familiares com baixa utilização de insumos (IBGE, 2012). A agricultura familiar representa mais de 85% dos estabelecimentos rurais, com quase 14 milhões de pessoas (DIDONET et al., 2006). O conjunto do agronegócio nacional em 2005 foi responsável por 27,9% do PIB nacional, sendo que o segmento familiar da agropecuária brasileira e as cadeias produtivas a ela interligadas representaram 9,0% do PIB, evidenciando a importância da agricultura familiar na geração de riqueza do país (GUILHOTO et al., 2007).

O estabelecimento rural familiar possui vocação para a diversificação e menor utilização de insumos externos com tendência natural a modelos mais sustentáveis de produção, por exemplo, a agricultura orgânica (DIDONET et al., 2006). As estatísticas sobre o setor orgânico no Brasil ainda são precárias, principalmente em relação aos produtos e a área plantada. Em geral essas informações são especulativas e apenas fornecidas por algumas certificadoras. O Instituto de Biodinâmica e de Desenvolvimento Rural – IBD, por exemplo, possui 64 certificações de milho e derivados (milho verde, minimilho, milho pipoca, farinha de milho e fubá). A Organics Brasil, organização que reúne empresas exportadoras de produtos orgânicos processados possui três empresas associadas com a exportação de cereais; os produtos a base de milho mencionados nos catálogos dessas empresas são: biscoitos, cereais matinais, barrinhas de cereais, comidas para bebês, dentre outros (FONTANETTI et al., 2012).

Cruz et al. (2007) ressaltam a necessidade de adequações no manejo cultural da produção orgânica de milho, o que favoreceria outros segmentos da cadeia produtiva no qual o milho é matéria-prima essencial, como a produção de aves, suínos e bovinos em sistemas orgânicos. Entre as adequações necessárias estão os manejos dos herbívoros e fitopatógenos. No sistema convencional, o controle geralmente é realizado com a aplicação de agrotóxicos como fungicidas e inseticidas, e uso de plantas geneticamente modificadas, a utilização desses insumos além de onerosos, podem oferecer risco à saúde do agricultor, de sua família, dos consumidores e também ao ambiente.

O silício (Si), embora não seja considerado um elemento essencial para a nutrição mineral de plantas, vêm sendo estudado por proporcionar diversos benefícios, como incremento de produtividade e proteção contra insetos fitófagos e doenças fúngicas para espécies como arroz (CAMARGO et al., 2007), cana-de-açúcar (MADEIROS et al., 2009), batata (GOMES et al., 2009) e milho (GOUSSAIN et al., 2002). Segundo Epstein (1994), alguns estudos têm demonstrado que o fornecimento de Si para algumas espécies de Poaceas, como o milho, podem estimular a produção e o crescimento vegetal indiretamente, por proporcionar proteção contra fatores abióticos, como estresse hídrico ou toxidez por alumínio (Al), manganês (Mn), ferro (Fe) e sódio (Na), e fatores bióticos, como ataques de pragas.

Recentemente tem se avaliado fontes alternativas para o fornecimento de Si às culturas agrícolas. Dentre as mais pesquisadas estão às escórias de siderurgia (ROCHA et al. 2011; VIDAL & PRADO 2011). Mas outros resíduos, como aqueles provenientes das agroindústrias, também possuem potencial para uso. No entanto, são necessários estudos que comprovem a eficiência e a viabilidade técnica dos mesmos.

Os dejetos agroindustriais quando descartados de forma incorreta podem gerar graves problemas ambientais. Porém, possuem grande potencial de uso para fins agrícolas. A utilização dos resíduos da indústria canvieira, por exemplo, constitui-se em uma prática bastante generalizada, tanto no caso dos

efluentes líquidos, vinhaça, como também dos resíduos sólidos, como a torta de filtro (TF) (POLO et al., 1988).

Estudar o potencial de fornecimento de nutrientes, principalmente Si, para as plantas por resíduos orgânicos agroindustriais é importante, pois além de reduzir os passivos ambientais causados pelo descarte incorreto, podem diminuir o uso de adubos sintéticos solúveis que utilizam em sua maioria matéria prima importada. Além disso, representam elevados custos para o agricultor.

2 OBJETIVOS

Considerando os benefícios do Si para as plantas e a necessidade de avaliar fontes alternativas para o fornecimento desse elemento para a cultura do milho, e de, propor novas formas para o aproveitamento dos resíduos agroindustriais, objetivou-se com esse trabalho:

a) Avaliar o fornecimento de Si para a cultura do milho pelos resíduos agroindustriais torta de filtro, cinza de bagaço de cana-de-açúcar, casca-de-arroz carbonizada e pela fonte mineral silicato de cálcio.

b) Quantificar o acúmulo de Si na folha e no colmo da planta de milho e seus efeitos nos parâmetros biométricos: altura de planta, matéria seca e diâmetro de colmo.

c) Avaliar o efeito de doses de Si no acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na planta de milho proporcionado pelos resíduos agroindustriais em consonante

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O Enfoque Agroecológico na Agricultura

A agroecologia, como ciência, utiliza o agroecossistema como unidade de estudo, incorporando à visão unidimensional das ciências agrárias as dimensões ecológicas, sociais e culturais (ALTIERI, 1994). Fornece o arcabouço prático e teórico para que o agroecólogo trabalhe com a resiliência dos agroecossistemas contribuindo para a restauração da biodiversidade nos mesmos, uma vez que o primeiro passo para a auto-regulação e sustentabilidade de um agroecossistema é a preservação e a ampliação de sua biodiversidade (ALTIERI, 1989).

De acordo com Caporal et al. (2009):

“..., a agroecologia é defendida como uma nova ciência em construção, como um paradigma, de cujos princípios e bases epistemológicas nascem à convicção de que é possível reorientar os cursos alterados dos processos de uso e manejo dos recursos naturais, de forma a ampliar a inclusão social, reduzir os danos ambientais e fortalecer a segurança alimentar e nutricional, com a oferta de alimentos saudáveis para todos os brasileiros.”

A agroecologia pretende orientar estratégias de desenvolvimento rural mais sustentável e de transição para estilos de agriculturas de base ecológica (CAPORAL et al., 2009). Portanto o manejo agroecológico dos agroecossistemas visa não somente a máxima produtividade e aproveitamento dos recursos autóctones, mas também a reorientação de processos produtivos e estratégias de desenvolvimento que possam minimizar os impactos ambientais gerados pela agricultura convencional e que privilegie a biodiversidade e a diversidade sócio-cultural.

Ao longo da história, as populações rurais sempre dependeram da natureza como provedora de numerosos bens e serviços que variam da água aos medicamentos. A agricultura tem desempenhado um papel central no

sucesso da espécie humana, possibilitando que sua população se expanda para muito além do que seria possível somente com a caça e coleta. Porém, as áreas de biodiversidade naturais vêm cada vez mais perdendo espaço para cultivos ou mesmo sofrendo efeitos deletérios em função do uso exacerbado dos agrotóxicos e a simplificação da paisagem causada pela agricultura convencional (MCNEELY & SCHERR, 2009), nos fazendo acreditar que o enfoque agroecológico nos modos de produção seja realmente o próximo passo a ser dado para minimizar os efeitos negativos da agricultura nos ecossistemas naturais.

A agroecologia como enfoque científico, como uma matriz disciplinar, vem cada vez mais sendo confundida por termos errôneos e reducionistas, como por exemplo, um modelo de agricultura ou como a adoção de determinadas práticas agrícolas ambientalmente mais adequadas em detrimento de um novo paradigma (CAPORAL et al., 2009). Vale ressaltar que o paradigma aqui utilizado deriva da proposta khuniana de paradigma, a qual resume a idéia de paradigma ou matriz disciplinar como sendo a cultura de um grupo em torno de um determinado fim, ou seja, um corpo característico de crenças e concepções que abrangem todo o conhecimento partilhado por um grupo científico (KHUN *apud* CAPORAL et al., 2009). Segundo Sevilla Guzmán & Ottmann (2004), os elementos centrais da agroecologia podem ser agrupados em três dimensões: ecológica e técnica agrônômica, socioeconômica, culturais, e por fim sócio-política. Gliessman (2000) afirma que a proposta agroecológica utiliza-se de uma dialética transformadora que considera o conhecimento local e busca sua integração com o conhecimento científico, dando espaço para a construção de novos saberes sócio-ambientais e alimentando, assim, o processo de transição agroecológico. Propondo novos rumos para o desenvolvimento da ciência, a agroecologia desenvolve novas metodologias para a produção do conhecimento de forma que o potencial intelectual dos agricultores e agricultoras sejam valorizados e articulados com o conhecimento científico institucionalizado (PETERSEN, 2009).

Dessa maneira, a Agroecologia se mostra como uma ferramenta importante para orientar modelos de produção agrícola e desenvolvimento

rurais menos impactantes sócio-ambientalmente e que garantam a segurança alimentar e nutricional da população. O presente trabalho pretende contribuir para a construção teórica da agroecologia no que se refere à sua dimensão técnica agrônômica.

3.2 O Silício no Solo

Os solos tropicais, por suas condições edafoclimáticas, estão mais sujeitos ao fenômeno da dessilicatização, caracterizada pela perda de silício ocasionada pelos processos de intemperização e lixiviação, muitas vezes favorecida pelos cultivos intensivos (LIMA FILHO et al., 1999).

O silício solúvel presente na solução do solo e disponível para as plantas é o ácido monossilícico (H_4SiO_4) em concentração média de 0,1 a 0,6 mmol L⁻¹ (EPSTEIN, 1999). A concentração de SiO₂ extraível nos solos variam de menos 1 até mais de 100 mg dm⁻³ (Raven, 2001), em função dos teores de argila, óxidos de ferro e alumínio (RAIJ & CAMARGO, 1973).

O silício solúvel no solo pode ser proveniente da decomposição de resíduos vegetais, da aplicação de fertilizantes silicatados ou da transformação de compostos minerais no solo, sendo a principal forma absorvida pelas plantas (POSTEK, 1981; DAYANANDAM et al., 1983; MA & TAKAHASHI, 2002). Como demonstra a Figura 1 copilada do trabalho de LIMA FILHO et al.(1999).

A precipitação do Si formando minerais, a polimerização do ácido monossilícico, a lixiviação, a adsorção com óxidos de Fe e Al e a absorção pelas plantas são os principais drenos de Si do solo (EXLEY, 1998). De acordo com Friesen et al. (1994) a compactação do solo também pode ser um dos fatores que reduz a quantidade de H₄SiO₄ do solo, por favorecer a formação de ácidos polissilícicos.

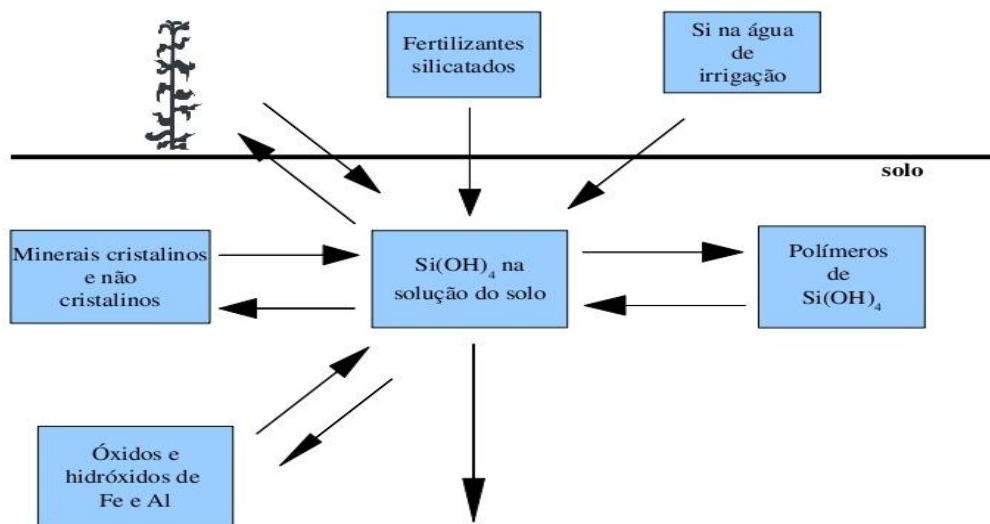


Figura 1. Transformações e processos mais importantes que influenciam a concentração de silício na solução do solo (LIMA FILHO et al.,1999).

A estabilidade e a solubilidade do ácido monossilícico podem ser influenciadas pelo pH e pela concentração de silício na solução do solo. Em pH acima de 9,0 com concentração acima de $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de silício ocorre precipitação, pois há combinação de polímeros e de monômeros solúveis de ácido monossilícico (MCKEAGUE & CLINE, 1963) que formam ácidos polissilícicos os quais possuem dois ou mais átomos de silício e são dificilmente absorvidos pelas plantas (ILER, 1979).

3.3 O Silício na Planta

Miyake & Takahashi (1985) classificam as plantas em acumuladoras, com elevado teor de silício foliar, maior que 10 g kg^{-1} (Poaceae); não acumuladoras, com baixo teor de silício foliar, menor que 5 g kg^{-1} , mesmo com altos níveis no meio, como o tomateiro (*Lycopersicon lycopersicum* L.); e intermediárias, com quantidade de silício foliar, entre 5 e 10 g kg^{-1} , quando a concentração no meio é alta (Curcubitaceae, soja e feijão).

De modo geral, as plantas terrestres contêm silício em quantidades comparáveis aos macronutrientes (0,1 a 10 %) em algumas culturas como o

arroz e a cana-de-açúcar, o teor de silício pode igualar-se ou exceder a quantidade de nitrogênio (EPSTEIN, 1995).

Os modos de absorção de Si pelas plantas são ativo, passivo e absorção exclusora. Plantas com absorção ativa tendem a extrair Si da solução do solo, e são conhecidas como acumuladoras de Si (TAKAHASHI et al., 1990). Essas espécies apresentam os melhores resultados com adubação silicatada, principalmente em solos altamente intemperizados e dessilicatados (LIMA FILHO et al., 1999). Nas plantas exclusoras, mais de 80% do Si absorvidos encontram-se nas raízes, especificamente na parede celular (HEINE et al., 2005). Supõe-se que nessas plantas o silício pode ser retido pela camada de suberina presente na endoderme e esta retenção pode ser o que torna a planta exclusora de silício (RAVEN, 2001). Por fim, nas plantas com absorção passiva de silício, o elemento é absorvido por fluxo de massa e não apresentam sítios específicos de absorção como os observados nas plantas acumuladoras. Por sua vez, o ácido silícico absorvido pelas plantas, é depositado principalmente nas paredes das células epidérmicas, contribuindo, assim, para o fortalecimento da estrutura da planta (MA & TAKAHASHI, 2002).

A utilização de silício em algumas culturas como o arroz e a cana-de-açúcar, tem diminuído a susceptibilidade ao acamamento (DEREN, 2001). Relatam-se também o aumento na produção de fitoalexinas, substâncias essenciais para a defesa natural das plantas (KORNDÖRFER et al., 1999). Em plantas de pepineiro foi descoberta uma nova classe de fitoalexina após o tratamento com silício, indicando que esse elemento pode potencializar uma série de eventos bioquímicos relacionados com a defesa do pepineiro (FAWE et al., 1989).

Pozza et al. (2004) observaram redução de 63,2% de folhas de café (*Coffea arabica* L.) lesionadas por *Cercospora coffeicola* (Berkeley & Cooke), e 43% no total de lesões por plantas quando se empregou 1 g de silicato de cálcio incorporado em 1 kg de substrato comercial. Plantas de soja (*Glycine max* L.) cultivadas em solução nutritiva com 40 mg L⁻¹ de Si, apresentaram redução na intensidade do cancro da haste *Diaporthe phaseolorum* (CKE &

ELL. SACC.) var. meridionalis (Morgan-Jones) reduzindo o número de lesões em 90% (LIMA, 1998).

Resultados promissores no controle do oídio *Sphaerotheca fuliginea* (Schlecht.:Fr) Poll também foram encontrados em plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivadas em solução nutritiva, suplementada com 100 mg kg⁻¹ de silicato de potássio (SAMUELS et al., 1991). Os mesmos autores observaram redução no crescimento das colônias de oídio nas folhas das plantas tratadas, atribuídas à presença de silício ao redor das hifas dos fungos.

A silicificação da epiderme previne a penetração das hifas dos fungos e a mastigação pelos insetos porque as células ficam mais endurecidas (YOSHIDA, 1975). Também há relatos que o comportamento dos insetos é afetado pela presença de altos níveis de Si na planta (SAVANT et al., 1997). Larvas da broca do colo, alimentadas com plantas contendo elevado teor de silício, tiveram as mandíbulas danificadas (DJAMIN & PATHAK 1967); larvas de lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) (J. E. Smith) (Lepidoptera: noctuidae) também apresentaram as mandíbulas danificadas ao serem alimentadas com folhas de milho adubadas com 3,2 ml de solução de silicato de sódio [25-28% (p/v) de SiO₂], mais 96,8 ml de água, via solo aos 05, 10, 15, 20 e 25 após germinação das plantas (GOUSSAIN et al., 2002).

Os insetos afetados negativamente por elevado teor de silício na planta de arroz são *Chilo suppressalis*, *Scirpophaga incertulas* (YOSHIDA, 1975; SAVANT et al., 1994), *Chlorops oryzae*, *Niphotettix bipunctatus cincticeps* (MAXWEL et al., 1972), *Nilaparvata lugens* (SUJATHA et al., 1987), *Sogetella furcifera* (SALIM & SAXENA, 1992). A figura 2 copilada do trabalho de Lima Filho et al. (1999), está representado o papel fisiológico do Si na planta de arroz, vegetal mais estudado quanto ao efeito do Si.



Figura 2. Diagrama do papel fisiológico do Si na planta de arroz. Adaptado de Lima Filho et al. (1999).

Moraes et al. (2006) relatam a possibilidade de aumento na resistência mecânica da célula foliar tratada com Si, inclusive tornando algumas plantas, como a de milho, resistente ao acamamento. Os mesmos autores afirmam que as células foliares podem perder menos água para a atmosfera quando as plantas são tratadas com Si, pois a camada de sílica amorfa que se acumula na parede celular das células da epiderme funciona como uma barreira para a saída da água.

As Tabelas 1 e 2, extraídas do trabalho de Rodrigues et al. (2011) relatam trabalhos que comprovam a eficiência do silício no controle de pragas e fitopatógenos nas mais variadas culturas.

Tabela 1. Culturas que apresentam efeitos benéficos do Si no controle de pragas (Rodrigues et al. 2011).

| CULTURAS | PRAGAS | REFERÊNCIAS |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Trigo | <i>Oulema melanopus</i> | Guslits (1990) |
| | <i>Schizaphis graminum</i> | Moraes et al. (2004) |
| | <i>Sitophilus granarium</i> | Kordan et al. (2005) |
| Milho | <i>Spodoptera frugiperda</i> | Goussain et al. (2002) |
| Arroz | <i>Chillo suppressalis</i> | Sasamoto (1961) |
| | <i>Scirpophaga incertulas</i> | Panda et al. (1965) |
| | <i>Tryporyza incertulas</i> | Subbarao & Perraju (1976) |
| | <i>Nilaparvata lugens</i> | Yoshihara & Sogawa (1979) |
| | <i>Chilo zeconius</i> | Ukwungwo & Odebiyi (1985) |
| Soja | <i>Schizaphis graminum</i> | Carvalho et al. (1968) |
| Cana-de-açúcar | <i>Chillo infuscatelos</i> | Rao (1967) |
| | <i>Diatrea saccharalis</i> | Elawad et al. (1982) |
| | <i>Eldana saccharina</i> | Meyer e Keeping (2005) |
| | <i>Mahanarva fimbriolata</i> | Kordornfer (2010) |
| Grama | <i>Herpetogramma</i> | Kordornfer et al. (2004) |

Tabela 2. Culturas que apresentaram efeitos benéficos do Si no controle de patógenos (Rodrigues et al. 2011).

| CULTURAS | DOENÇAS | PATÓGENOS | REFERÊNCIAS |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Abacate | Antracnose | <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> | Anderson et al. (2005) |
| Arroz | Bruzone | <i>Magnaporthe grisea</i> | Rodriguez et al. (2004) |
| | | <i>Pericularia oryzae</i> | Santos et al. (2003) |
| | Mancha parda | <i>Bipolaris oryzae</i> | Zanão Júnior et al. (2009) |
| | | <i>Helminthosporium oryzae</i> | Hegazi et al. (1993) |
| Descoloração de grãos | <i>Bipolaris, Fusarium</i> | Kordorfer et al (1999) | |
| Batata | Requeima | <i>Phytophthora infestans</i> | Carneiro et al (2003) |
| | Pinta preta | <i>Alternaria solani</i> | |
| Café | Ferrugem | <i>Hemileya vastatrix</i> | Reis et al. (2007) |
| | Cercospora | <i>Cercospora coffeicola</i> | Pozza et al. (2004) |
| Cana-de-açúcar | Ferrugem | <i>Puccinia melanocephala</i> | Dean & Tod (1969) |
| | Mancha anelar | <i>Leptosphaeria saccharis</i> | Raid et al. (1992) |
| Cevada | Oídio | <i>Erysiphe graminis</i> | Jiang et al. (1989) |
| Pepino | Oídio | <i>Esphaerotheca fuliginea</i> | Bélangier et al. (1995) |
| Soja | Cercospora | <i>Cercospora sorghi</i> | Nolla et al (2006) |
| | Cancro da haste | <i>Diaporthe phaseolorum</i> | Groethge Lima et al. (1998) |
| Tomate | Fungos | <i>Sphaerotheca fuliginea</i> | Adatia & Besfort (1986) |
| Trigo | Oídio | <i>Brumeria graminis</i> | Bélangier et al. (2003) |
| Uva | Oídio | <i>Uncinula necator</i> | Bowen et al. (1992) |
| | Míldio | <i>Sphaerotheca fuliginea</i> | Reynolds et al. (1996) |

3.4 Resíduos Agroindustriais

Na conhecida frase “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”, de Lavoisier, fica clara a possibilidade e a necessidade do reaproveitamento dos resíduos orgânicos e daqueles que são provenientes da agroindústria. A agroindústria é um dos segmentos mais importantes da economia brasileira, porém produz quantidades consideráveis de resíduos sólidos e líquidos (LEUCENA & CHERNICHARO, 2005). A produção dos resíduos vem provocando impactos ambientais, pois a taxa de geração supera a taxa de degradação. Assim, é necessário reduzir, reciclar e reaproveitar os resíduos. E os esforços para recuperar energia e matéria se mostram cada vez mais importante na sociedade moderna.

O aproveitamento agrícola dos resíduos agroindustriais é uma prática bastante generalizada. No caso da indústria canavieira, tanto os efluentes líquidos, vinhaça, como os resíduos sólidos, como a torta de filtro (TF) são amplamente utilizados (POLO et al., 1988). A TF constitui o material retido na filtração do lodo decantado no processo de clarificação do caldo de cana. É constituída fisicamente pelo bagacilho, partículas finas de bagaço utilizado como material filtrante, e pelos materiais sedimentados após o tratamento do caldo. Sua composição química depende da variedade, do estado nutricional da cana, da maturação e, principalmente, do ácido fosfórico, enxofre e calagem utilizados na clarificação do caldo (RODRIGUES, 2002).

A produção TF é de 30 kg por tonelada de cana-de-açúcar moída (ROSSETO et al., 1978). Em geral, os teores de Si total e solúvel na composição da TF são 3,32% e 0,05% respectivamente. A concentração de Si solúvel no solo, aumenta significativamente com a adição da TF, atingindo 75,6 kg ha⁻¹ de silício solúvel. A TF é por vezes empregada como adubo orgânico, na cultura da cana-de-açúcar. Dinardo-Miranda et al. (2003) verificaram que houve aumento de 20 e 50 t ha⁻¹ respectivamente na produtividade da cana-de-açúcar com o uso da TF.

Outro resíduo da indústria canavieira com alta concentração de silício é a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), com concentrações de silício total

e solúvel próximos a 40% e 0,35% respectivamente. A CBC é o material particulado recolhido no processo de lavagem dos gases e do piso das caldeiras, sua composição é bastante variável dependendo da intensidade da queima e da composição do bagaço. Estima-se que no Brasil, sejam produzidos 2,5 milhões de toneladas de CBC (GUERRINI & TRIGUEIRO, 2004)

Glória et al. (1993), utilizando um Latossolo Roxo distrófico (LRd) e Areia Quartzosa (AQ), incubados, com quantidades crescentes de CBC, observaram aumento de pH, redução no alumínio trocável e acréscimo nos teores de fósforo e potássio do solo, demonstrando a eficiência do uso desse resíduo para a adubação, principalmente como fonte de potássio e fósforo.

Motivados pela evolução tecnológica do beneficiamento do arroz, a casca-de-arroz (CA), resíduo de elevado poder calorífico (16.720 kJ/Kg), tem substituído a lenha para a geração de calor nos secadores de grãos. Porém, essa alternativa propícia para o aproveitamento da casca-de-arroz, gera outro resíduo, a casca-de-arroz carbonizada (CAC), que contém cerca de 72,10% de SiO₂ em sua massa (DELLA & HOTZA, 2006). No mundo, a produção de CA chega a 80 milhões de toneladas ao ano, geralmente, o peso da CA é 20% do valor da produção total de arroz (FOLLETO et al., 2005), e da massa de casca-de-arroz queimada, cerca de 20% se torna CAC.

A CAC vem sendo utilizada, na agricultura e em viveiros florestais. Savant et al.(1997) verificaram redução do número de plantas de arroz fertilizadas com CAC atacadas pela broca do colo. Segundo Stringheta et al. (1997), a redução da proporção de CAC no substrato para a produção de crisântemo (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat) Tzvelev), ocasionou, a diminuição da produção de matéria seca das inflorescência e também de seu diâmetro

Além do fornecimento de Si, os resíduos orgânicos agroindustriais também podem fornecer outros nutrientes para as culturas agrícolas, bem como melhorar as características químicas do solo. Rodella et al. (1990) observaram que a TF aplicada em área total na quantidade de 100 t ha⁻¹

promoveu o aumento do fósforo, do cálcio, do carbono orgânico e da CTC e a redução dos teores de alumínio trocável.

De acordo com Brunelli & Pisani Jr. (2006), a utilização da cinza como insumo no processo produtivo agrícola é ambiental e economicamente viável, uma vez que esse material possibilita alta capacidade de retenção de água, melhorando o desenvolvimento da cultura e reduzindo impactos ambientais provocados pela irrigação. Outra vantagem segundo os mesmos autores consiste no fato de este material ser fonte de macro e micronutrientes, e potencialmente capaz de corrigir a acidez do solo; uma tonelada de cinza possui efeito equivalente a 0,5 tonelada de calcário. Feitosa et al. (2009), em experimento realizado em um Latossolo Vermelho Amarelo, verificaram que a partir da dosagem de 60 t ha⁻¹, a CBC pode substituir a adubação mineral da cultura do milho.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido entre os meses de abril e junho de 2011 em casa de vegetação do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), localizado no município de Araras-SP.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x3+1 com 4 repetições. O primeiro fator foi constituído por quatro resíduos orgânicos agroindustriais: (cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), torta de filtro de cana-de-açúcar (TF), casca-de-arroz carbonizada (CAC) e um tratamento com silicato de cálcio P.A., o segundo por três doses: (175; 350 e 700 Kg de SiO₂ ha⁻¹) e um tratamento adicional (testemunha) sem adição de SiO₂.

As doses de SiO₂ ha⁻¹ utilizadas nesse trabalho foram baseadas nos resultados obtidos por Neri et al. (2005), que ao estudarem a preferência da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) por folhas de milho tratadas com Si, utilizaram a dosagem de 350 kg de SiO₂ ha⁻¹ na forma de escória de siderurgia, e observaram acúmulo de Si nas folhas da poaceas capaz de reduzir o ataque da praga. Para atender as dosagens de SiO₂ ha⁻¹ adicionou-se

quantidades diferentes de cada uma das fontes utilizadas, visto que essas apresentavam diferentes concentrações de SiO₂ (Tabela 3). As concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nos resíduos orgânicos agroindustriais estão descritas na Tabela 4.

O experimento foi conduzido em vasos de 20 dm³ utilizando como substrato um Latossolo Vermelho Álico A moderado textura argilosa (LE) de acordo com a classificação da EMBRAPA (1999). O solo foi peneirado e foram adicionados 30 gramas de calcário dolomítico (PRNT 95%) por vaso, 60 dias antes da semeadura do milho, para a elevação da saturação por bases de 26 para 70% conforme proposto por Raij et al., (1996). A análise química do solo foi realizada no Laboratório de análise química de solos e planta do DRNPA - UFSCar, conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001). O pH foi extraído em CaCl₂ e os valores para o P, Ca, Mg e K foram mensurados utilizando resina extratora (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade de Si aplicada e análise química do solo anterior à calagem.

| Fontes | (Si) | (Si) | Doses | | |
|--------|-------|---------|--------------------------------------|------|-------|
| | Total | Solúvel | SiO ₂ kg ha ⁻¹ | | |
| | % | % | 175 | 350 | 700 |
| CBC | 31,29 | 0,29 | 975 | 1947 | 3902 |
| TF | 6,78 | 0,06 | 4518 | 9030 | 18074 |
| CAC | 10,76 | 4,12 | 1657 | 3314 | 6628 |
| SC | 50,00 | - | 603 | 1206 | 2412 |

| Análise química do solo | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------|-----|-----|------------------------------------|-----|------|---------------------------------|
| pH | M.O | P | K | Ca | Mg | H+Al | H ₄ SiO ₄ |
| (CaCl ₂) | g dm ⁻³ | | | mmol _c dm ⁻³ | | | mg kg ⁻¹ |
| 4,8 | 25 | 9,0 | 1,2 | 10 | 5,0 | 45 | 9,0 |

CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de usina de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada e SC: Silicato de cálcio (P.A).

Tabela 4. Concentração dos nutrientes nos resíduos orgânicos agroindustriais em função das doses utilizadas.

| Resíduos | Nutrientes | | | | | | |
|----------|---------------------|---------------------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | Dosagens | N | P | K | Ca | Mg | S |
| | kg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | | | | | |
| CBC | 975 | 5,36 | 7,8 | 12,38 | 12,97 | 5,36 | 4,49 |
| | 1947 | 10,71 | 15,58 | 24,73 | 25,90 | 10,71 | 8,95 |
| | 3092 | 17,01 | 24,74 | 39,27 | 41,12 | 17,01 | 14,22 |
| TF | 4518 | 79,01 | 171,68 | 19,42 | 194,73 | 18,97 | 65,51 |
| | 9030 | 158,03 | 343,14 | 38,83 | 389,19 | 37,93 | 130,93 |
| | 18074 | 316,30 | 686,81 | 77,72 | 778,98 | 75,91 | 262,07 |
| CAC | 1657 | 11,60 | 3,31 | 5,30 | - | - | - |
| | 3314 | 23,20 | 6,63 | 10,61 | - | - | - |
| | 6628 | 46,39 | 13,26 | 21,21 | - | - | - |

CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de usina de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada.

O genótipo de milho utilizado foi um híbrido simples com o objetivo de minimizar as possíveis variações na absorção de Si pelas plantas. Isto porque, de acordo com Ma & Takahashi (2002), a absorção de Si pode variar entre indivíduos de maior variabilidade genética. Para a adubação utilizou-se composto orgânico comercial em todos os tratamentos, inclusive na testemunha. A dosagem foi calculada para atender às necessidades nutricionais da cultura do milho conforme Raij et al. (1996) e aplicada no pré-plantio. As características químicas do composto orgânico foram: 1% de (N); 1% de (P₂O₅); 2% de (Ca); 0,5% de (Mg); 40% de matéria orgânica; 15% de carbono orgânico total; pH: 6,5, 18 de relação C/N e 26,2% de umidade. O total de composto utilizado para suprir as exigências da cultura foi de 17 t ha⁻¹, o

que correspondeu à aplicação de 217 g de composto por vaso. Durante a condução do experimento a umidade do solo foi mantida em 70% da capacidade de campo (p/p) (CARVALHO, 2001). Para isso os vasos foram pesados em 70% de sua capacidade de campo (c.c.), para obter o peso padrão, uma amostra de cinco vasos por bancada da casa de vegetação (4 bancadas) foram pesados todos os dias, para em seguida, quando necessário, completar a quantidade de água para atingir o peso padrão do vaso com o solo à 70% da c.c.

As plantas de milho foram avaliadas aos 25 dias após a emergência (DAE), estágio de quatro folhas completamente expandidas (V4), e aos 75 DAE, no estágio de pendramento (VT), caracterizado quando mais de 50% das plantas apresentavam a inflorescência masculina. Em função das avaliações terem sido realizadas em duas épocas, cada tratamento teve o número de repetições duplicado, ou seja, quatro vasos por tratamento foram avaliados aos 25 DAE e quatro vasos aos 75 DAE do milho.

A altura das plantas foi medida com trena métrica, do solo até a inserção da última folha, aos 25 DAE, e do solo até a inserção do pendão, aos 75 DAE. Para medir o diâmetro de colmo das plantas de milho foi utilizado um paquímetro e avaliou-se a metade do primeiro entrenó expandido, obtendo-se assim o diâmetro basal. Para a avaliação da massa seca (MS), as plantas foram colhidas e separadas em folhas e colmos e colocadas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 65 ± 3 °C, até obtenção de peso constante. Após secagem, o material vegetal foi pesado separadamente (folhas e colmos) para a determinação da massa seca. Em seguida o material foi processado em moinho tipo Willer para determinação dos teores de Si nas folhas e nos colmos assim como o teor dos nutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas das plantas de milho.

A determinação do Si no solo, nos resíduos agroindustriais utilizados e no material vegetal foi realizada no Laboratório de Análise de Fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG. Para

isso utilizou-se metodologia proposta por Kilmer (1965) e Weaver (1968), com extrator de cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$.

A análise de Si total (SiO_2) nos resíduos agroindustriais foi feita por colorimetria após a extração com ácido clorídrico e ácido fluorídrico, onde os ácidos promovem a digestão do material restando o silício totalmente solúvel (FOX et al., 1967). O Si do material vegetal foi determinado pelo método proposto por Korndörfer et al. (1999).

As análises foliares dos demais nutrientes foram realizadas no Laboratório de análise química de solos e plantas do DRNPA - UFSCar, de acordo com metodologia proposta por Nogueira & Souza (2005). O N foi extraído por via úmida seguido por destilação, o P foi quantificado utilizando o azul de molibdênio, o K por espectrometria de emissão atômica, o Mg por espectrometria de absorção atômica e o S foi quantificado pelo método da turbimetria.

Para as variáveis, teor de silício nas folhas e nos colmos e parâmetros agronômicos do milho (altura de planta, diâmetro de colmo e teor de MS) foram feitas duas análises de variância. A primeira análise foi feita para o fatorial 4×3 (quatro fontes de Si x três dosagens) sem o tratamento adicional (testemunha). Nesse caso, realizou-se a análise de regressão para os dados quantitativos e o teste de Tukey a 5% de probabilidade para os dados qualitativos. Quando a interação entre os fatores foi significativa realizou-se o desdobramento dos mesmos.

Para comparar o tratamento adicional (testemunha) com os demais realizou-se a segunda análise de variância com os seguintes tratamentos: CBC nas doses de 175, 350 e 700 kg de $\text{SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$, TF nas doses de 175, 350 e 70 kg de $\text{SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$, CAC nas doses de 175, 350 e 700 kg de $\text{SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$, SC nas doses de 175, 350 e 700 kg de $\text{SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$ e a testemunha. As médias, nesse caso, foram comparadas por meio de contrastes pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas das plantas de milho realizou-se a análise de variância para comparar a testemunha com os

tratamentos: CAC nas doses de 1657, 3314 e 6628 kg ha⁻¹; TF nas doses de 4518, 9030 e 18074 kg ha⁻¹; e CBC nas doses de 975, 1947 e 3902 kg ha⁻¹. As médias foram comparadas por meio de contrastes pelo teste F a 5% de probabilidade. Ressalta-se que as doses dos resíduos orgânicos agroindustriais são diferentes, pois apresentavam concentrações distintas de silício, e para atenderem as doses de 175, 300 e 700 kg ha⁻¹ SiO₂ foi necessário a aplicação de diferentes quantidades dos resíduos (Tabela 4).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Diâmetro de colmo, altura e massa das plantas secas de milho

Para o diâmetro de colmo a análise de variância do fatorial (fontes x dosagens) revelou efeito significativo apenas aos 75 DAE (pendoamento do milho) (dados não apresentados). Houve efeito isolado das doses de SiO₂, independente das fontes. Observou-se aumento do diâmetro de colmo entre as doses 175 e 350 kg de SiO₂ ha⁻¹ e posterior redução em maiores doses de SiO₂ (Figura 3).

A análise de variância para comparar a testemunha, sem adubação com Si, com os demais tratamentos também revelou efeito significativo apenas aos 75 DAE. Os contrastes entre as médias dos tratamentos com as fontes de Si *versus* a testemunha, foi significativo para os tratamentos silicato de cálcio doses de 350 e 700 kg de SiO₂ ha⁻¹, torta de filtro na dose de 350 kg de SiO₂ ha⁻¹ e casca-de-arroz carbonizada na dose de 700 Kg de SiO₂ ha⁻¹. Esses tratamentos proporcionaram maior diâmetro de colmo das plantas de milho em relação ao tratamento testemunha (Tabela 5).

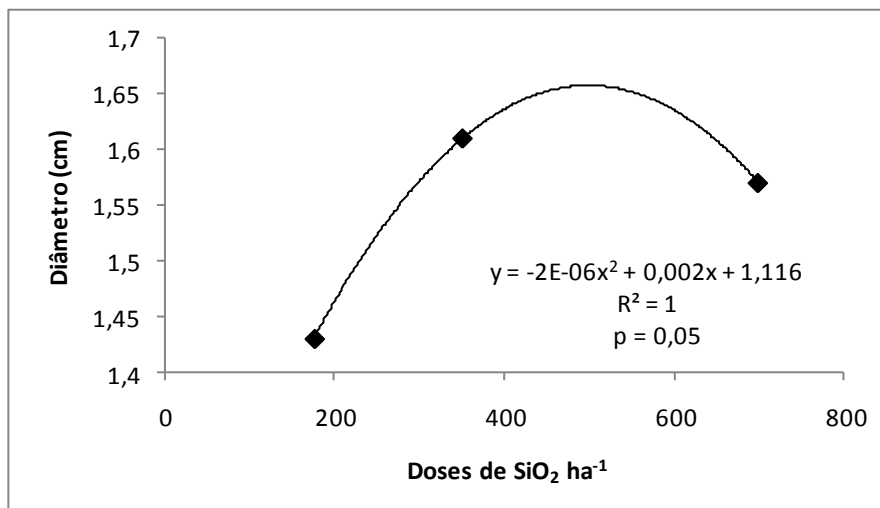


Figura 3. Diâmetro de colmo aos 75 dias após a emergência das plantas de milho em função das doses de SiO₂.

No milho, o colmo não só atua como suporte de folhas e inflorescências, mas principalmente como estrutura destinada ao armazenamento de compostos sólidos solúveis, que serão utilizados posteriormente na formação dos grãos (WINCLER, 2006). Daí a importância de internódios bem formados. A deposição e a polimerização do ácido silícico entre a parede celular, junto à lignina (EPSTEIN, 1999; DATNOF et al., 2001), causando a expansão da epiderme, pode ser um dos fatores que ocasionaram maior diâmetro de colmo nos tratamentos. Tal efeito seria interessante, pois quando a planta de milho sofre com o estresse hídrico, diminui o comprimento dos internódios, pela inibição da alongação das células em desenvolvimento, ocasionando diminuição da capacidade de armazenamento de açúcar (fotoassimilados) no colmo (WINCLER, 2006).

O efeito do Si observado no diâmetro do colmo da planta de milho difere dos resultados obtidos por Freitas et al. (2011), que em aplicação de Si via foliar, observaram que o elemento não influenciou o diâmetro de colmo. Possivelmente a forma de aplicação de silício influenciou o resultado, uma vez que a absorção radicular do elemento é mais eficiente que a absorção foliar (GUÉVEL et al., 2007). Gutierrez et al. (2011) também não encontraram efeito

no diâmetro de colmo do milho utilizando como fonte de silício a escória de siderurgia aplicada via solo.

Tabela 5. Estimativas dos contrastes entre o tratamento testemunha e as fontes de silício para altura e diâmetro de plantas de milho.

| Fontes de SiO ₂ | Doses | Altura de planta (25 DAE) | Diâmetro de planta (75 DAE) |
|----------------------------|---|------------------------------|--------------------------------|
| | kg de SiO ₂ ha ⁻¹ | m | cm |
| CBC | 175 | 0,04 ^{ns} | -0,04 ^{ns} |
| CBC | 350 | 0,03 ^{ns} | 0,15 ^{ns} |
| CBC | 700 | 0,06 ^{ns} | 0,16 ^{ns} |
| TF | 175 | 0,04 ^{ns} | 0,15 ^{ns} |
| TF | 350 | 0,04 ^{ns} | 0,24* |
| TF | 700 | 0,05 ^{ns} | -0,01 ^{ns} |
| CAC | 175 | 0,06* | -0,03 ^{ns} |
| CAC | 350 | 0,05 ^{ns} | 0,14 ^{ns} |
| CAC | 700 | -0,04 ^{ns} | 0,28* |
| SC | 175 | -0,02 ^{ns} | 0,10 ^{ns} |
| SC | 350 | 0,01 ^{ns} | 0,28* |
| SC | 700 | 0,002 ^{ns} | 0,24* |

Valores positivos indicam altura de plantas e ou diâmetro de colmo das plantas de milho superior ao tratamento testemunha, (*) significativo de acordo com o teste de F a 5% de probabilidade, (^{ns}) não significativo; DAE: dias após emergência; CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada e SC: Silicato de cálcio (P.A).

A análise de variância para o fatorial (fontes x dosagens) não foi significativa para a variável altura das plantas de milho em nenhuma das épocas de avaliação (dados não apresentados). No entanto, a análise de

variância realizada para comparar os tratamentos com a testemunha revelou efeito significativo para primeira época de avaliação aos 25 DAE (4 folhas expandidas). O contraste entre a média do tratamento CAC dose de 175 Kg ha⁻¹ de SiO₂ *versus* a testemunha foi significativo (Tabela 5). As plantas adubadas com CAC apresentaram altura de 0,06 m superior ao tratamento testemunha. Porém, essa diferença não foi constatada aos 75 DAE (pedramento das plantas de milho).

Orioli Júnior et al. (2008) analisaram a altura de plantas de trigo, acumuladoras de silício, sob diferentes dosagens de silício via solo e também não encontraram efeito na altura das plantas. Segundo Deren (2001), o silício pode proporcionar uma maior rigidez estrutural, por aumento da resistência mecânica celular e folhas mais eretas, porém não existe qualquer fator direto que evidencie o maior crescimento efetivo da planta.

As análises de variâncias do fatorial (fontes x dosagens) não foram significativas para a massa das plantas secas de milho em nenhuma das épocas de avaliação. Do mesmo modo, a análise de variância para comparar os tratamentos com a testemunha (sem adição de SiO₂) não revelou efeito significativo na massa das plantas secas de milho.

Ao estudarem os efeitos da adubação silicatada no crescimento de plantas de milho, Gutierrez et al. (2011) também não encontraram relação entre a adição de Si, utilizando como fonte a escória de siderurgia, na produção de massa seca da poaceae. No entanto, verifica-se efeito da adição de SiO₂ na massa seca de outras espécies vegetais. Ma & Takahashi et al. (2002) afirmaram que na cultura do arroz o Si pode influenciar indiretamente na produção de massa seca, pela melhoria na absorção de fósforo atribuída à menor absorção de manganês. Para as plantas de crisântemos (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat) Tzvelev), Stringheta et al. (1997) afirmam que houve gradativa redução da massa seca a medida que a casca-de-arroz era retirada do substrato de produção, sem contudo associar o fato à adição de Si.

5.2 Acúmulo de silício nas folhas e nos colmos das plantas de milho

As análises de variâncias do fatorial (fontes x dosagens) revelaram efeito significativo do teor de Si nas folhas de milho para as duas épocas de avaliação (dados não apresentados). Aos 25 DAE (4 folhas expandidas) houve efeito isolado dos resíduos agroindustriais e das dosagens. A casca-de-arroz carbonizada foi o resíduo que proporcionou o maior acúmulo de Si nas folhas do milho (Tabela 6). E independente das fontes de SiO₂, observou-se que o teor de Si nas folhas de milho aumentou com as doses, porém com uma ligeira queda na dose equivalente a 350 Kg ha⁻¹ de SiO₂ (Figura 4).

Na segunda avaliação, aos 75 DAE (pendoamento do milho) houve efeito isolado apenas para as fontes de SiO₂, independentes das doses. A CAC continuou a ser a fonte que proporcionou o maior teor de Si na folha de milho (Tabela 6). A mesma tendência foi observada para o teor de Si no colmo, aos 25 DAE as fontes mais eficientes foram a CAC e o SC, sendo o SC significativamente semelhante aos demais tratamentos, e aos 70 DAE a CAC proporcionou o maior acúmulo de Si no colmo do milho (Tabela 6).

Goussain et al. (2002) ao tratarem plantas de milho com 3,2 mL de solução de silicato de sódio [25-28% (p/v) de SiO₂] até os 25 DAE, via solo, encontraram o teor de 1,4% de Si nas folhas, o que se assemelha com o valor encontrado no tratamento com silicato de cálcio (P.A.), nesse experimento. Ressalta-se que o tratamento com CAC aos 25 DAE, apresentou 2,15% de Si foliar.

Furlani et al. (1977), ao estudarem o acúmulo de Si em híbridos simples de milho, verificaram o teor de 1,05% de Si nas folhas, aos 28 DAE, porém sem realizar adubação silicatada, em um Latossolo Vermelho eutrófico. Esse fato pode indicar a eficiência do fornecimento de silício, pela CAC; pois aos 25 DAE o tratamento com este resíduo já mostrou acúmulo de Si foliar superior ao relatado na literatura. A CAC possui relação C/N maior do que as outras fontes utilizadas (CAC: 63/1; TF: 19/1; CBC: 8/1); mesmo assim, foi a fonte que mais

disponibilizou Si em curto prazo. Isto se deve possivelmente a uma maior concentração de Si solúvel na CAC em relação às outras fontes (Tabela 3).

Tabela 6. Médias dos teores de Si na folha e no colmo de milho em função das fontes de SiO₂.

| Fontes de SiO ₂ | 25 DAE | | 75 DAE | |
|----------------------------|--------|----------|--------|--------|
| | Folha | Colmo | Folha | Colmo |
| | % | | | |
| CBC | 0,61 b | 0,75 b | 2,15 b | 1,26 b |
| TF | 0,71 b | 0,75 b | 2,26 b | 1,23 b |
| CAC | 2,15 a | 1,89 a | 2,41 a | 1,64 a |
| SC | 1,05 b | 1,08 b a | 2,15 b | 1,22 b |

Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey à 5% de probabilidade. CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar, TF: Torta de filtro de cana-de-açúcar, CAC: Casca-de-arroz carbonizada, SC: Silicato de cálcio (P.A.).

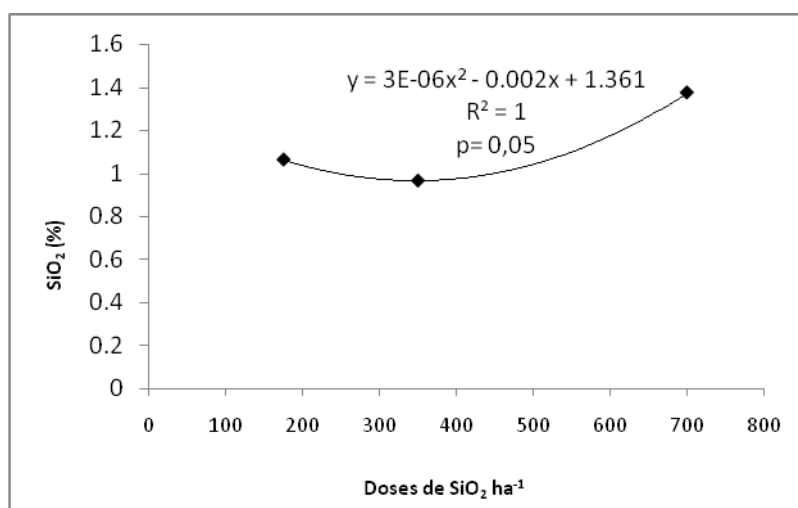


Figura 4. Teor de silício na folha de milho em função das doses de SiO₂, aos 25 dias após emergência.

A análise de variância, para comparar o tratamento testemunha com os demais, revelou efeitos significativos para as duas épocas de avaliação 25 e 75 DAE. Aos 25 DAE, os contrastes realizados entre as médias dos tratamentos *versus* a testemunha foram significativos para os tratamentos CAC nas doses de 175, 350 e 700 kg ha⁻¹ SiO₂. Esses proporcionaram respectivamente 1,32, 0,99 e 1,99% de Si na folha a mais que o tratamento testemunha (Tabela 7). Para o teor de Si no colmo de milho aos 25 DAE, apenas o tratamento CAC 700 kg ha⁻¹ foi significativamente superior ao tratamento testemunha (Tabela 7). Isto confirma a eficiência da CAC em disponibilizar Si em curto prazo para as plantas de milho.

Nas avaliações realizadas aos 75 DAE (pendoamento do milho), não se observou diferenças entre as fontes de SiO₂ e a testemunha (sem SiO₂) para o teor de Si na folha do milho. Porém os tratamentos, CBC 175 kg ha⁻¹, CAC 175, 350 e 700 kg ha⁻¹, e SC 175 kg ha⁻¹ proporcionaram aumentos significativos no teor de Si no colmo do milho.

Tais resultados contrastam com os obtidos por Freitas et al. (2011) que, ao analisarem o fornecimento de Si via foliar para a cultura do milho, não constataram aumento significativo no diâmetro de colmo com o aumento da dosagem de Si, indiferentemente das épocas de fornecimento (2, 5 e 8 folhas expandidas). Tal fato pode ser explicado pela pouca mobilidade do elemento nas plantas, uma vez que com a aplicação foliar o Si pode não ter sido transportado para os colmos. No presente trabalho, em que o Si foi fornecido via solo, o elemento segue o fluxo da água na planta, das raízes passando pelos tecidos do colmo e provavelmente ali também se depositando.

Vale ressaltar que, segundo Korndörfer et al. (2006), as plantas de milho acumulam em suas folhas teores de Si entre 2,5 e 11,4 g kg⁻¹, o que corresponde aos resultados obtidos no presente trabalho, não sofrendo nenhuma influência pela deposição do Si no colmo.

Para comparar a eficiência da CAC e do SC na liberação de Si, realizaram-se contrastes entre os tratamentos CAC 175, 350, 700 kg ha⁻¹ SiO₂ e o tratamento SC 700 Kg ha⁻¹ SiO₂. Aos 25 DAE, o teor foliar de Si foi maior

nos tratamentos CAC 175 e 700 kg ha⁻¹ SiO₂. Já para o teor de Si no colmo, apenas o tratamento CAC na dose de 700 Kg ha⁻¹ de SiO₂ foi superior ao SC (silicato de cálcio) 700 Kg ha⁻¹ SiO₂ e os demais tratamentos não diferiram entre si (Tabela 7). Esses resultados ressaltam que a casca-de-arroz carbonizada provavelmente liberou ácido silícico rapidamente no solo e esse foi absorvido pelas plantas de milho. Aos 75 DAE o teor de Si na folha e no colmo de milho nos tratamentos que receberam casca-de-arroz carbonizada apresentaram valores superiores ao tratamento com silicato de cálcio 700 kg ha⁻¹ SiO₂ (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativas dos contrastes entre as fontes de SiO₂ e a testemunha e dos contrastes entre os tratamentos casca-de-arroz carbonizada (CAC) *versus* o tratamento silicato de cálcio (SC) na dose de 700 Kg ha⁻¹ para os teores de Si nas folhas e nos colmos do milho.

| Tratamentos | | Folha | Colmo | Folha | Colmo |
|-------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | SiO ₂ Kg ha ⁻¹ | 25 DAE | | 75 DAE | |
| | | % | | | |
| CBC | 175 | -0,09 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,35 ^{ns} | 0,42* |
| CBC | 350 | -0,18 ^{ns} | -0,04 ^{ns} | 0,38 ^{ns} | 0,28 ^{ns} |
| CBC | 700 | -0,05 ^{ns} | -0,23 ^{ns} | 0,56 ^{ns} | 0,19 ^{ns} |
| TF | 175 | -0,18 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,25 ^{ns} |
| TF | 350 | -0,12 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | 0,55 ^{ns} | 0,21 ^{ns} |
| TF | 700 | 0,30 ^{ns} | -0,12 ^{ns} | 0,11 ^{ns} | 0,35 ^{ns} |
| CAC | 175 | 1,32 ^{ns} | 0,38 ^{ns} | 0,97 ^{ns} | 0,80* |
| CAC | 350 | 0,99* | 0,75 ^{ns} | 1,92 ^{ns} | 0,64* |
| CAC | 700 | 1,99* | 1,98* | 1,40 ^{ns} | 0,59* |
| SC | 175 | 0,34 ^{ns} | 0,27 ^{ns} | 0,27 ^{ns} | 0,43* |
| SC | 350 | 0,30 ^{ns} | 0,28 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,18 ^{ns} |
| SC | 700 | 0,38 ^{ns} | 0,13 ^{ns} | 0,05 ^{ns} | 0,17 ^{ns} |

| Tratamentos | | Folha | Colmo | Folha | Colmo |
|-------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------|-------|
| | SiO ₂ Kg ha ⁻¹ | 25 DAE | | 70 DAE | |
| | | % | | | |
| CAC | 175 | 0,94* | 0,26 ^{ns} | 0,92* | 0,63* |
| CAC | 350 | 0,61 ^{ns} | 0,63 ^{ns} | 1,34* | 0,44* |
| CAC | 700 | 1,61* | 1,85* | 1,74* | 0,42* |

Valores positivos indicam teores de Si nas folhas e nos colmos superiores ao tratamento testemunha; (*) significativo de acordo com o teste de F a 5% de probabilidade, (^{ns}) não significativo; CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada e SC: Silicato de Cálcio (P.A); DAE: dias após emergência.

5.3 Concentração dos macronutrientes N, P, K, Ca Mg e S nas folhas de milho e interações com as doses e fontes de Si

As análises de variâncias realizadas para os nutrientes aos 25 DAE do milho revelaram diferenças significativas entre os tratamentos para os nutrientes N, P e K, e aos 75 DAE houve efeito significativo para todos os nutrientes exceto o Ca.

O nitrogênio, como constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos, citocromos e integrante da molécula de clorofila, é juntamente com o potássio o elemento mais requerido pela cultura do milho (BULL, 1993). O nitrogênio também apresenta forte influência sobre a qualidade do cereal contribuindo para o aumento do teor de proteína nos grãos (VASCONCELOS,1989).

Os contrastes realizados entre o tratamento testemunha, sem resíduos agroindustriais, com os demais tratamentos revelaram diferenças significativas aos 25 DAE e aos 75 DAE para o teor de N nas folhas de milho. Aos 25 DAE a TF na dose de 9030 kg ha⁻¹ apresentou menos 0,78% de N na massa seca das folhas de milho quando comparadas com a testemunha. Aos 75 DAE os tratamentos CBC nas doses 975, 1947 e 3902 kg ha⁻¹; TF nas doses de 4518, 9030 e 18074 kg ha⁻¹ e CAC na dose de 3314 kg ha⁻¹ apresentaram teores de N inferiores ao tratamento testemunha (Tabela 8).

Tabela 8. Estimativas dos contrastes entre as médias dos teores de N nas folhas de milho adubadas com os resíduos agroindustriais e a testemunha.

| Tratamentos | 25 DAE | | 75 DAE | |
|-------------|---------------------------------|---------------------|--------|----------------------|
| | Dosagens kg ha ⁻¹ | | % | |
| CBC | 975 | 0,03 ^{ns} | | -0,650* |
| CBC | 1947 | 0,21 ^{ns} | | -0,487* |
| CBC | 3092 | -0,09 ^{ns} | | -0,677* |
| TF | 4518 | -0,09 ^{ns} | | -0,400* |
| TF | 9030 | -0,78* | | -0,887* |
| TF | 18074 | -0,08 ^{ns} | | -0,650* |
| CAC | 1657 | -0,22 ^{ns} | | -0,050 ^{ns} |
| CAC | 3314 | 0,08 ^{ns} | | -0,650* |
| CAC | 6628 | -0,05 ^{ns} | | -0,087 ^{ns} |

Valores positivos indicam teores de nitrogênio nas folhas superiores ao tratamento testemunha; (*) significativo de acordo com o teste de F a 5% de probabilidade, (^{ns}) não significativo; CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada; DAE: dias após emergência.

Savant et al. (1999) afirmam que o Si possibilita melhor aproveitamento de determinados nutrientes como, por exemplo, o nitrogênio. Ma & Takahashi (2002) verificaram que plantas de arroz, acumuladoras de Si, assim como o milho, ao serem adubados com fertilizantes silicatados otimizam o aproveitamento do nitrogênio. Mauad et al. (2003), ao estudarem a interação do Si com o N em plantas de arroz, não observou interações entre os elementos. Ávila et al. (2010) também não encontraram relação entre a absorção de Si e a concentração de N foliar em plantas de arroz. Todavia,

encontraram relação entre o fornecimento de Si com o acúmulo de NO_3^- nas raízes da planta de arroz.

Botelho et al. (2005) avaliando a aplicação de silicato de sódio e potássio na cultura do café verificaram que os teores de N foliar reduziram com o aumento da dose de SiO_2 no substrato. Deren (2001) também verificaram decréscimo da concentração de N foliar ao avaliarem o fornecimento de Si para cultura do arroz.

Aos 75 DAE, todos os tratamentos, exceto a casca-de-arroz carbonizada (CAC) nas doses de 945 e 3902 kg ha^{-1} reduziram o teor de N foliar quando comparado com a testemunha. No entanto, ao analisar o Tabela 7 verifica-se que apenas os tratamentos CBC 175 kg ha^{-1} de SiO_2 e CAC em todas as dosagens de SiO_2 apresentaram teores de Si foliar superiores a testemunha, indicando que possivelmente não houve relação entre o acúmulo de Si e a redução do N foliar nesse trabalho. Entretanto Mauad et al. (2003) relatam uma possível competição por sítios de absorção entre o ácido silícico (H_3SiO_4^-) e o nitrato (NO_3^-), podendo o primeiro interferir na absorção do segundo.

Outra hipótese conjecturada para a redução dos teores de N foliar nos tratamentos que receberam os resíduos agroindustriais foi a relação C/N dos mesmos. Como a CAC é o resíduo que possuía a maior relação C/N, poderia ocorrer redução na disponibilidade de N para as plantas e consequente diminuição do N foliar. No entanto, isto não foi observado no trabalho.

Para o teor de P foliar os contrastes entre a testemunha e os demais tratamentos revelaram efeitos significativos aos 25 e 75 DAE do milho. Aos 25 DAE, a CBC 3092 kg ha^{-1} e a TF nas dosagens de 9030 e 18074 kg ha^{-1} , apresentaram teores foliares de P superiores ao tratamento testemunha (Tabela 9). Esse fato já era esperado tendo em vista que esses resíduos foram os que acrescentaram ao solo as maiores doses de P (Tabela 4). Já aos 75 DAE apenas a CAC 1657 e 6628 kg ha^{-1} apresentaram teores foliares de P superiores a testemunha (Tabela 9). Ressalta-se que a CAC nas dosagens de 1657 e 6628 kg ha^{-1} foram também os tratamentos que proporcionaram o maior acúmulo de Si na planta de milho.

Tabela 9. Estimativas dos contrastes entre as médias dos teores de P nas folhas de milho adubadas com os resíduos agroindustriais e a testemunha.

| Tratamentos | | 25 DAE | 75 DAE |
|-------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| | Dosagens kg ha ⁻¹ | | % |
| CBC | 975 | 0,013 ^{ns} | 0,007 ^{ns} |
| CBC | 1947 | 0,025 ^{ns} | 0,010 ^{ns} |
| CBC | 3092 | 0,035* | 0,020 ^{ns} |
| TF | 4518 | 0,002 ^{ns} | 0,025 ^{ns} |
| TF | 9030 | 0,058* | 0,007 ^{ns} |
| TF | 18074 | 0,040* | 0,012 ^{ns} |
| CAC | 1657 | 0,005 ^{ns} | 0,077* |
| CAC | 3314 | 0,010 ^{ns} | 0,012 ^{ns} |
| CAC | 6628 | 0,008 ^{ns} | 0,130* |

Valores positivos indicam teores de fósforo nas folhas superiores ao tratamento testemunha; (*) significativo de acordo com o teste de F a 5% de probabilidade, (^{ns}) não significativo; CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada; DAE: dias após emergência.

Gutierrez et al. (2011) e Garcia et al. (2011) relatam uma maior disponibilização de P em função da disponibilidade de Si e vice-versa. Porém, afirmam, que esse fato está, aparentemente, mais relacionado ao pH do que com a desorção propriamente dita desses elementos.

Carvalho et al. (2000) afirmam que tanto o Si quanto o P são adsorvidos pelos óxidos de ferro e alumínio da fração argila, podendo o Si deslocar o P previamente adsorvido ou vice-versa, caracterizando o caso de sorção recíproca.

Ao pesquisarem a relação Si/P na planta de milho, Gutierrez et al. (2011) não observaram aumento dos teores foliares de P após aplicação de escória de siderurgia. Os autores relatam provavelmente a ocorrência de uma reação entre os constituintes da escória. O cálcio, por exemplo, poderia ter se precipitado na solução do solo reduzindo a absorção do P. Ao contrário, Cessa (2005) constatou que a aplicação de 300 mg dm^{-3} de Si, na forma de metassilicato de sódio pentahidratado, promoveu o aumento significativo dos conteúdos de P da parte aérea da planta de sorgo cultivados em um Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa.

Tisdale et al. (1985) relatam que é prática comum na agricultura asiática a aplicação de silicatos antes da fosfatagem visando promover a competição entre o P e o Si com o intuito de disponibilizar P para as plantas. Carvalho et al. (2000) ao avaliar a dessorção de P pelo Si em um Latossolo Vermelho Escuro e em um Cambissolo, ambos sob vegetação de cerrado, concluiu que há dessorção do P desses solos pela ação do Si.

Ao estudar a aplicação de Si na forma de silicato de cálcio antes da fosfatagem, Melo (2005) verificou maior disponibilização de P para a *Brachiaria brizantha*. A relação P/Mn aumenta com a adição de Si, indicando maior disponibilização de P com a aplicação de fertilizantes silicatados (MA & TAKAHASHI, 2002). Como o P se encontra no solo nas formas aniônicas H_2PO_4^- e HPO_4^- , uma alternativa que vem sendo estudada para reduzir a adsorção do nutriente às cargas positivas dos colóides é a competição com outros ânions, como o caso do Si com o P, pelos sítios da fase sólida do solo (MA et al. 2001).

Para o teor foliar de K os contrastes realizados entre os tratamentos com os resíduos agroindustriais e a testemunha revelaram diferenças significativas aos 25 e 75 DAE. Aos 25 DAE a TF 9030 kg ha^{-1} e CBC 3092 kg ha^{-1} apresentaram teores de K superiores ao tratamento testemunha. Já aos 75 DAE a CAC nas doses de 1657 e 6628 kg ha^{-1} apresentaram teores de K superior à testemunha (Tabela 10).

Tabela 10. Estimativas dos contrastes entre as médias dos teores de K nas folhas de milho adubadas com os resíduos agroindustriais e a testemunha.

| Tratamentos | 25 DAE | | 75 DAE | |
|-------------|---------------------------------|---------------------|----------------------|--|
| | Dosagens kg ha ⁻¹ | | % | |
| CBC | 975 | 0,143 ^{ns} | -0,015 ^{ns} | |
| CBC | 1947 | 0,032 ^{ns} | 0,135 ^{ns} | |
| CBC | 3092 | 0,382* | 0,105 ^{ns} | |
| TF | 4518 | 0,145 ^{ns} | 0,082 ^{ns} | |
| TF | 9030 | 0,555* | 0,132 ^{ns} | |
| TF | 18074 | 0,285 ^{ns} | 0,240 ^{ns} | |
| CAC | 1657 | 0,155 ^{ns} | 1,012* | |
| CAC | 3314 | 0,187 ^{ns} | 0,112 ^{ns} | |
| CAC | 6628 | 0,070 ^{ns} | 0,837* | |

Valores positivos indicam teores de potássio nas folhas superiores ao tratamento testemunha; (*) significativo de acordo com o teste de F a 5% de probabilidade, (^{ns}) não significativo; CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada; DAE: dias após emergência.

A interação entre Si e K nos solos ainda é um assunto pouco abordado nos estudos com adubação silicatada. Aos 25 DAE a CBC na dose 3092 kg ha⁻¹ e TF na dose de 9030 kg ha⁻¹ apresentaram teor de K foliar superior a testemunha. Estes resíduos agroindustriais são os que ofereceram os maiores teores de K (Tabela 4). Melo (2005) ao estudar a influência da aplicação de silicato cálcio no desenvolvimento do capim *Brachiaria brizantha*, verificou que houve diferença significativa no teor de K foliar no primeiro corte; o autor relatou maior absorção de K nos tratamentos que receberam adubação silicatada. Furlani (1977) não observou relação entre o teor de Si foliar e o teor

de K foliar na cultura do milho, aos 28 e 83 DAE, porém não foi aplicado nenhum fertilizante silicatado.

O maior teor de K nas folhas de milho adubadas com CAC, tratamento que também proporcionou maior teor de Si foliar, pode estar relacionado ao fato do Si possivelmente promover a desorção e conseqüentemente maior disponibilidade de K no solo (DATNOFF et al., 2001). Os resultados, no entanto, diferem dos encontrados por Zanão Júnior et al. (2009), que não encontraram diferença significativa no teor de K foliar em plantas de arroz submetidas à aplicação de Si na forma de silicato de cálcio, via solo, e ácido silícico e silicato de potássio, via foliar, comparados com a testemunha sem aplicação de Si.

Ressalta-se que a CAC é o resíduo que possui menor concentração de K em sua composição (Tabela 4), mas foi o que proporcionou, aos 75 DAE, o maior acúmulo de K nas folhas de milho, e também foi o tratamento que proporcionou o maior acúmulo de Si. Isto permite concluir que houve relação entre o fornecimento de Si e a absorção e conseqüente acúmulo de K nas folhas de milho.

Para o teor de Mg foliar os contrastes entre os tratamentos com resíduos agroindustriais *versus* a testemunha aos 75 DAE, não revelaram diferenças significativas, ou seja, os teores de Mg dos tratamentos com os resíduos agroindustriais foram semelhantes a testemunha (Tabela 11). Os resultados diferem dos obtidos por Botelho et al. (2005), que verificaram que a concentração de Mg reduziu até a dose de $0,72 \text{ g kg}^{-1}$ de silicato de cálcio e depois tendeu a aumentar; quando se utilizou o silicato de sódio, o teor de Mg reduziu até a dose de $0,30 \text{ g kg}^{-1}$ e após aumentou. Os autores ressaltam que a interação significativa pode ter ocorrido devido a existência de um possível antagonismo entre o Mg e o Ca, em que o aumento na concentração de um no meio implica na redução do outro.

Tabela 11. Estimativas dos contrastes entre as médias dos teores de Mg e S nas folhas de milho adubadas com os resíduos agroindustriais e a testemunha, aos 75 dias após a emergência.

| Tratamentos | | Mg | S |
|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | Dosagens | | % |
| | kg ha ⁻¹ | | |
| CBC | 975 | 0,015 ^{ns} | 0,062* |
| CBC | 1947 | -0,035 ^{ns} | 0,005 ^{ns} |
| CBC | 3092 | -0,037 ^{ns} | 0,047* |
| TF | 4518 | -0,037 ^{ns} | 0,020 ^{ns} |
| TF | 9030 | -0,032 ^{ns} | 0,065* |
| TF | 18074 | -0,035 ^{ns} | 0,012 ^{ns} |
| CAC | 1657 | 0,030 ^{ns} | 0,030 ^{ns} |
| CAC | 3314 | -0,037 ^{ns} | -0,012 ^{ns} |
| CAC | 6628 | 0,030 ^{ns} | 0,045* |

Valores positivos indicam teores de magnésio e enxofre nas folhas superiores ao tratamento testemunha; (*) significativo de acordo com o teste de F a 5% de probabilidade, (^{ns}) não significativo; CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada.

Para os teores foliares de S os contrastes entre as médias dos resíduos agroindustriais *versus* a testemunha (Tabela 11), aos 75 DAE, revelaram que os tratamentos com CAC na dose de 6628 kg ha⁻¹, TF na dose de 9030 kg ha⁻¹ e a CBC nas dosagens de 975 e 3902 kg ha⁻¹ apresentaram teores foliares de S superiores ao tratamento testemunha (Tabela 11).

Botelho et al. (2005) não constataram a influência da aplicação de Si, em substrato para a produção de mudas de café, no teor foliar de S nessa cultura. Silva & Bohnen (2003) estudando a absorção de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com diferentes níveis de Si não observaram diferenças significativas nos teores foliares de S.

Entretanto, os resultados observados podem estar relacionados com o fornecimento de Si, uma vez que aos 75 DAE a CAC na dose de 6628 kg ha⁻¹, resíduo agroindustrial que não possui concentração de S significativa, diferiu significativamente da testemunha quanto o teor foliar de S. Ao avaliarem a influência da adubação com silicato de potássio em plantas de soja, Lima et al. (2010) verificaram aumento significativo do teor foliar de S nas planta de soja em solução nutritiva com adição de silício. Assim, possivelmente houve relação entre o fornecimento de Si e a absorção e deposição do S nas folhas da planta de milho.

Ressalta-se que todos os níveis de nutrientes foliares, inclusive da testemunha, se mantiveram dentro dos valores de referência para a interpretação de resultados de análises de tecido vegetal para o milho proposto por Ribeiro et al. (1999) (Tabela 12).

Tabela 12. Média dos teores de nutrientes foliar para cada tratamento em comparação com os valores de referência (VR) para a análise de tecido foliar da cultura do milho segundo Ribeiro et al. (1999).

| | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | % | | | | | |
| Valores de referência | 2,75-3,25 | 0,25-0,35 | 1,75-2,25 | 0,25-0,40 | 0,25-0,40 | 0,10-0,20 |
| CBC (975 kg ha ⁻¹) | 3,6 | 0,25 | 3,44 | 0,25 | 0,33 | 0,29 |
| CBC (1947 kg ha ⁻¹) | 3,8 | 0,25 | 3,59 | 0,26 | 0,28 | 0,17 |
| CBC (3092 kg ha ⁻¹) | 3,71 | 0,25 | 3,56 | 0,27 | 0,28 | 0,21 |
| TF (4518 kg ha ⁻¹) | 3,96 | 0,25 | 3,54 | 0,26 | 0,28 | 0,18 |
| TF (9030 kg ha ⁻¹) | 3,46 | 0,26 | 3,59 | 0,28 | 0,29 | 0,23 |
| TF (18074 kg ha ⁻¹) | 3,7 | 0,28 | 3,70 | 0,28 | 0,29 | 0,18 |
| CAC (1657 kg ha ⁻¹) | 4,3 | 0,30 | 4,47 | 0,28 | 0,35 | 0,19 |
| CAC (3314 kg ha ⁻¹) | 3,7 | 0,27 | 3,52 | 0,25 | 0,27 | 0,15 |
| CAC (6628 kg ha ⁻¹) | 4,3 | 0,35 | 4,5 | 0,30 | 0,35 | 0,20 |

CBC: Cinza de bagaço de cana-de-açúcar; TF: Torta de filtro de cana-de-açúcar; CAC: Casca-de-arroz carbonizada.

6 CONCLUSÕES

A adubação com resíduos orgânicos agroindustriais, em todas as dosagens, não influenciaram a massa das plantas de milho seca.

O aumento das doses de SiO₂ proporcionaram aumento no diâmetro de colmo da planta de milho.

A casca-de-arroz carbonizada mostrou-se mais eficiente no fornecimento de Si para a cultura do milho, inclusive quando comparada com o silicato de cálcio.

Não houve relação entre o acúmulo de Si e a redução do N foliar nas plantas de milho.

O fornecimento de Si pela casca-de-arroz carbonizada favoreceu a absorção e o conseqüente acúmulo de P e K nas folhas de milho.

Não houve relação entre o fornecimento de Si e a absorção de Mg pelas plantas de milho.

O fornecimento de Si pela casca-de-arroz carbonizada favoreceu a absorção e conseqüente acúmulo de S na planta de milho.

7 BIBLIOGRAFIA

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa**. Rio de Janeiro: ASPTA, 1989.

ALTIERI, M. A. **Sustainable agriculture**. In: Encyclopedia of Agricultural Science. Berkeley: Academic Press, 1994. v. 4, p. 239-247.

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

BOTELHO, D. M. S., POZZA, E. A., POZZA, A. A. A., CARVALHO, J. G., BOTELHO, C. E. SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, 2005. v. 30, n. 06, p. 582-588.

BRUNELLI, A.M.M.P.; PISANI JÚNIOR, R. Proposta de Disposição de Resíduo Gerado a partir da Queima do Bagaço de Cana em Caldeiras como Fonte de Nutriente e Corretivo do Solo. In: Congresso Interamericano de ingeniería Sanitaria y ambiental, 30., 2006, Punta del Leste. **Anais Punta del Leste. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 2006. v. 1. p. 1-9.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELA, H. (ed). **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba. POTAFOS, 1993. 145p.

CAMARGO, M. S.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; QUEIROZ, A. A.; REIS, C. B. Soil reaction and absorption of silicon by rice. **Scientia Agrícola**, 2007. v. 64, p.176-180.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A.; PAULUS, G. **Agroecologia: uma ciência do campo da complexidade**. Brasília, 2009.

CARVALHO, L. M. **Disponibilidade de água, irradiância e homeopatia no crescimento e teor de partenolídeo em Artemísia**, 2001. 139 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2000. v. 24, p. 69-74.

CESSA, R. M. A. **Absorção de fósforo e crescimento do sorgo em função da pré-aplicação de silício em um Latossolo Vermelho distroférico**. 2005. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2005.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PEREIRA, F. T. F.; ALVARENGA, R. C.; KONZEN, E. A. Produção orgânica de grãos e silagem de milho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 2007. v.2, n.1, p.1186 – 1189.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. Silicon on Agriculture. Amsterdam. **Elsevier Science**, 2001. 424p.

DAYANANDAM, P.; KAUFMAN, P.B.; FRAKIN, C.I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, New York, 1983. v. 70, n. 10, p.1079-1084.

DELLA, V. P.; HOTZA, D. Estudo comparativo entre sílica obtida de lixívia ácida de casca-de-arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza da casca-de-arroz. **Química Nova**, 2006. v.29, p.75-79.

DEREN, C. Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. 1.ed. Silicon in Agriculture. Amsterdam, **Elsevier Science**, 2001. p.149-158.

DIDONET, A. D.; BAGGIO, A. J.; MACHADO, A. T.; TAVARES, E. D.; COUTINHO, H. da C.; CANUTO, J.C.; GOMES, J. C. C.; RIBEIRO, J. F.; WADT, L. H. de O.; MATTOS, L. M. de; BORBA, M. F. S.; KATO, M. do S A.; URCHEI, M. A.; KITAMURA, P. C.; PEIXOTO, R.T. de G. Marco referencial em Agroecologia. 2. versão. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2006. 34 p.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A.; COELHO, A. L.; GARCIA, V.; MUNEGATTI, C. C. Efeito da Torta de Filtro e nematicidas sobre as infestações de nematóides e a produtividade da cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, 2003. v.27, p.61-67.

DJAMIN, A.; PATHAK, M.D. Role of silica in resistance to Asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* (Walker) in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, 1967. v.60, p.347-351.

DUARTE, J.O.; GARCIA, J.C.; MIRANDA, R. A. de. Economia da produção. In: EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo de Milho: Sistema de produção. 7. ed. 2011. Disponível <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/economia.htm > Acesso em maio de 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proc. Nat. Acad. Sci**, 1994. v.91, p.11-17.

EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions, and problems. **Photosynthesis Research**, 1975. v.46, p.37-39.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, 1999. v.50, p.641-664.

EXLEY, C.; Silicon in life: a biorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, 1998. v.69, p.139-144.

FAWE, A.; ABOUD-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, St Paul, 1989. v.9, n.1, p.76-82.

FEITOSA, D.G.; MALTONI, K.L.; SILVA, I.P.F. Avaliação da cinza, oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar, na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, 2009. v.4, n.2, p.2412-2415.

FOLLETO, E. L.; HOFFMAN, R.; HOFFMAN, R. S.; PORTUGAL JUNIOR, U. L.; JAHN, S. L. Aplicabilidade das cinzas de casca-de-arroz. **Química Nova**. 2005. v.28, p.55-60.

FONTANETTI, A.; SANTOS, I. C. dos; GALVÃO, J. C. C. Caracterização de milho orgânico. In: PATERNIANI, M. E. A. G.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. **Diversidade e Inovações na Cadeia Produtiva de Milho e Sorgo na Era dos Transgênicos**. Campinas: Instituto Agronômico/ Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. p. 215-232.

FOX, R. L.; SILVA, J. A.; YOUNGUE, O. R.; PLUCNETT, D. L.; SHERMAN, G. D. Soil and plants silicon and silicate response by sugar cane. **Soil Science Society America Proceeding**, Madison, 1967, v.31, p.775-779.

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

FRIESEN, D. K.; SANZ, J. I.; CORREA, F. J.; WINSLOW, M. D.; OKADA, K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils in Colombia. I. Evidence of a major yield constraint. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, Goiânia, 1994. v.9. **Anais**.

FURLANI, P. R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, W. J. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, Campinas, 1977, v. 36, n. 22, p. 223 -229.

GARCIA, R. A.; MERLIN, A.; TOLEDO, M. Z.; FERNANDES, D. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; BULL, L. T. Desenvolvimento da aveia branca e disponibilidade de fósforo em razão da aplicação de silicato de potássio. **Revista Ceres**, Viçosa, 2011, v. 58, n.6, p. 831-837, nov./dez.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Ed. UFRGS. Porto Alegre, 2000.

GLÓRIA, N. A.; MATIAZZO, M. E.; MORAES, C. J. **Avaliação** da fuligem como fonte de potássio para vegetais. In: 5º Congresso Nacional da STAB. **Anais**. Águas de São Pedro, SP: STAB, 1993, p. 56-60.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência à insetos-pragas e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, 2009, v. 33, n. 1, 18-23, jan./fev.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da Aplicação de Silício em Plantas de Milho no Desenvolvimento Biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, 2000, v.31. p. 305-310.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos composto por bio-sólidos de casca-de-arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 2004, v.28, p.69-76.

GUÉVEL, M. H.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, 2007, v. 119, n. 4, p. 429-436.

GUILHOTO, J. J. M., AZZONI, C. R., SILVEIRA, F. G., ICHIHARA, S. M., DINIZ, B.P.C., MOREIRA, G. R.C. **PIB da Agricultura familiar: Brasil - Estados**. Brasília: MDA, 2007. 172p. (NEAD Estudos; 19).

GUTIERREZ, R. S.; INOCÊNCIO, M. F.; NOVELINO, J. O. Estação de silício em solos adubados com fosfatos e silicatos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, 2011, v.41, n.1. p.1-7.

HEINE, G.; TIKUM, G.; HORST, W.J. Silicon nutrition of tomato and bitter gourd with special emphasis on silicon distribution in root fractions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Malden, 200, v. 168, n. 21, p. 600-606.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006. Disponível:http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/default.shtm. Acesso em abril de 2012.

ILER, R.K. **The chemistry of silica**. New York: Wiley, 1979. 321p.

KILMER, V. J. Silicon. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 959-962.

KORNDÖRFER, G.H. Existe alguma relação entre silício e Plantio Direto? In: **Plantio Direto No Cerrado**, APDC - Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1999, v.4, n.12, p.5.

KORNDÖRFER, G.H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S (Eds.) **Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2006, p.355-374.

LEUCENA, M. V.; CHERNICHARO, C. A. L. Avaliação experimental da compostagem de RSU submetidos a etapa prévia de tratamento anaeróbio. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. **Anais**. Campo Grande, Mato Grosso, 2005, p.9.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. **O silício na agricultura** (Encarte Técnico - Informe Agrônômico, 87), Potafós, 1999, p.1-7.

LIMA, L. M.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; FONSECA, T. A. P. S.; CARVALHO, J. G. Quantificação de ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytoph.**, Botucatu, 2010, v. 36, n.1, p. 51-56.

LIMA, M.T.G. de. **Interrelação Cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum f. sp. meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine Max (L.) Merrill*]**. (Tese de Doutorado). Piracicaba. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, ESALQ/USP, 1998.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: **Silicon in Agriculture**. Edited by DATNOFF, L. E., KORNDÖRFER, G. H., SNYDER, G. New York, **Elsevier Science**, 2001.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan, 1º.ed. **Elsevier Science**. Amsterdam, 2002, 274 p.

MCNEELY, J. A.; SCHERR, S. J. **Ecoagricultura: alimentação do mundo e biodiversidade**. São Paulo: SENAC São Paulo, 2009. 459 p.

MADEIROS, L. B; VIEIRA, A O; AQUINO, B. F. Micronutrientes e silício nas folhas da cana-de-açúcar: escória siderúrgica aplicada no solo. **Engenharia Ambiental**, 2009, v. 6, p. 27– 37.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H., CRUSCIOL, C. A. C.CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2003, v. 27, n. 05.

MAXWELL, F.G.; JENKINS, J.N.; PARROT, W.L. Resistance of plants to insects. **Advances in Agronomy**, New York, 1972, v.24, p.187-265.

MCKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Sílica in soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, 1963, v.15, n. 21, p.339-397.

MELO, S. P. **Silício e fósforo para estabelecimento do capim-marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. Piracicaba, 2005. 110p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALq.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effects of silicon on the growth of soybean plants in a solute culture. **Soil Science and plant nutrition**, 1985, v.31, p.625-636.

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

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

NOGUEIRA, A. R. R.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos. Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

ORIOLI JÚNIOR, V.; ARF, O.; COSTA, R. S.; BUZETTI, S. Modos de aplicação e doses de silício em dois cultivares de trigo cultivados em semeadura direta. **Scientia Agraria**, 2008, v.9, n.3, p.377-383.

PETERSEN, P. **Agricultura familiar camponesa na construção do futuro**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2009.

POLO, A.; ANDREAUX, F.; CERRI, C.C.; LOBO, M.C. Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira: Decomposição biológica sob condições controladas. **STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos**. Piracicaba, 1988, v.6, n.3, p.53-56.

POSTEK, M.T. The occurrence of silica in leaves of *Magnolia grandiflora*. **Botanical Gazette**, Chicago, 1981, v.142, n. 1. p.124-134.

POZZA, A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J.G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, 2004, v.29, p.185-188.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, 1973, v.32, p.223-236.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 1.ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC,1996. 285p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAVEN, J.A. Silicon transport at the cell and tissue level. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. 1.ed. Silicon in agriculture. **Elsevier Science**, Amsterdam, 2001, p.41-55.

ROCHA, L. C. de M.; PRADO, R. de M.; ALMEIDA, T. B. F. Efeito residual da escória de siderurgia como fonte de silício para cultura do sorgo. **Revista da FZVA**, 2011, v.18, p.101-115.

RODELLA, A.A.; SILVA, L.C.F. DA; FILHO, J.O. Effects of filter cake application on sugarcane yields. **Turrialba**, 1990, v.40, n.3, p.323-326.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, 2001, n.134, p. 14-20.

RODRIGUES, S. A. Análise comparativa entre diversos sistemas de tratamento para clarificação de caldo. In: 8º Congresso Nacional da STAB. **Anais**: Recife, 2002, p. 732-736.

RODRIGUES, S. A.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; KUCHARÉK, T. A.; SNYDER, G. H. Effect of silicon rate and host resistance on blast, scald, and yield of upland rice. **Plant Disease**, St. Paul, 2001, v.84, p.871-876.

ROSSETTO, A. J.; RESENDE, L. C. L.; ALONSO, J.C.; BUSSIOLI, F.; MARGUERON, S. L. N.; SILVA, J.A.; MILLER, L.C. Sistemas de distribuição de vinhaça na Usina São João-SP. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**. São Paulo, 1978, v.1. p.37-47.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 180 p.

SALIM, M.; SAXENA, R. C. Iron, silica and aluminum stresses and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. **Crop. Sci**, 1992, v.32, p.212-219.

SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J.G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, 1991, v.4. p.485-492.

SAVANT, A.S.; PATIL, V.H.; SAVANT, N. K. **Rice** hull ash applied to seedbed reduces deadhearts in transplanted rice. International Rice Research. **Anais**, Los Baños, 1994. v.19, n.4, p.21-22.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon nutrition and sugarcane production. A review. **Journal of Plant Nutrition**. New York, 1999,. v.12, n.2.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, New York, 1997, v.58. p.151-199.

SEVILLA GUZMÁN, E.; OTTMANN, G. Las dimensiones de La Agroecología. In: INSTITUTO DE SOCIOLOGÍA Y ESTUDIOS CAMPESINOS. **Manual de olivicultura ecológica**. Córdoba, Universidad de Córdoba, 2004. p.11-26.

STRINGHETA, A.C.O.; RODRIGUES, L.A.; FONTES, L.E.F.; COSTA, C.A. Caracterização física de substratos contendo composto de lixo urbano e casca-de-arroz carbonizada como condicionadores. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 199,. v. 21. p.155-159.

SUJATHA, G.; REDDY, G.P.V.; MURTHY, M. M. K. Effect of certain biochemical factors on expression of resistance of rice varieties to brown plant hopper (*Nilaparvata lugens* Stal). **Journal Research Apau**, Andhra Pradesh, 1987, v.15, p.124-128.

TAKAHASHI, E.; MA, J. F.; MIYAKE, Y. The possibility as an essential for higher plants. **Comments on agricultural and Food Chemystri**, London, 1990, v.2, p.99-122.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, D. J. **Soil fertility and fertilizers**. 4ªed. New York : MacMillan, 1985. 754p.

VASCONCELLOS, C. A. Importância da adubação na qualidade do milho e do sorgo. In: Simpósio sobre adubação e qualidade dos produtos agrícolas, v.1., Ilha Solteira, 1989. **Anais**. Ilha Solteira. FEIS, 1989.

VIDAL, A. de A.; PRADO, R. de M. Aplicação de escória siderúrgica calcária e uréia em latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2011, v.4. p. 264-272.

WEAVER, R.M.; SYERS, J.K.; & M.L. JACKSON. Determination of silicon in citrate-bicarbonate-dithionite extracts of soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, 1968, v. 32, p. 497-501.

WINCLER, L. **Melhoramento Genético de Plantas por meio de Biótipos**. 2006, p.7 (Informativo Fundacep, 2).

YOSHIDA, S. **The physiology of silicon in rice**. Taipei: Food and Fertilization Technology Center, FFTC. Technical Bulletin, 1975. v. 25.

ZANÃO JUNIOR, L. A.; FONTES, R. L. F.; ÁVILA, V. T. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha-parda. **Pesquisa. Agropecuária**. Brasil, 2009, v.44, n.2, p. 203-206.