

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**A ESCÓRIA DE SIDERURGIA COMO MATERIAL CORRETIVO
E A INTERAÇÃO COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
CANA-DE-AÇÚCAR**

Joani Cristina Hungaro Aires da Gama Bastos
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2008

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**A ESCÓRIA DE SIDERURGIA COMO MATERIAL CORRETIVO
E A INTERAÇÃO COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
CANA-DE-AÇÚCAR**

Joani Cristina Hungaro Aires da Gama Bastos

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Renato de Mello Prado**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciências do Solo).

JABOTICABAL – SP
2008

B327e Bastos, Joani Cristina Hungaro Aires da Gama
A escória de siderurgia como material corretivo e a interação com
a adubação nitrogenada em cana-de-açúcar / Joani Cristina Hungaro
Aires da Gama Bastos. -- Jaboticabal, 2008
viii, 58f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008
Orientador: Jairo Osvaldo Cazetta
Banca examinadora: Gener Tadeu Pereira, Francisco Maximino
Fernandes
Bibliografia

1. Escória de siderurgia. 2. Nitrogênio. 3. Saccharum spp. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.879.3:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOANI CRISTINA HÚNGARO AIRES DA GAMA BASTOS - nascida em São José do Rio Preto – SP no dia 15 de outubro de 1977, filha de João Roberto Coelho Aires da Gama Bastos e Elizabeth Aparecida Húngaro Aires da Gama Bastos, possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campos Ilha Solteira (2005), onde foi bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Realizou estágio na Usina da Pedra, entre outras atividades. Em agosto de 2005 iniciou o curso de mestrado pelo Programa de Ciência do Solo na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -Campus Jaboticabal. Foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), desenvolvimento e pesquisa na área de Fertilidade do Solo, na linha de pesquisa Nutrição e Adubação de Plantas.

A minha querida e amada mãe **Elizabeth**, pelo exemplo de vida,
dedicação e amor incondicional.

Aos meus irmãos **Paulo e Estevan**, pela amizade amor,
companheirismo e proteção.

OFEREÇO

Ao meu amado e saudoso pai **João Roberto**,
que foi um exemplo de honestidade
e de vida para mim.

DEDICO

AGRADECIMENTO

A Deus por tantas dádivas e pelo amor.

À minha família, pois sem eles eu nada seria e conseguiria nesta vida,

Ao curso de Pós-Graduação em Agronomia “Ciências Solo” da FCAV/UNESP, Campus Jaboticabal, pela oportunidade e contribuição científica.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta pela orientação sempre eficiente e construtiva, pelo exemplo de profissionalismo. E pela paciência e compreensão nas horas difíceis.

Ao Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela co-orientação e pelo exemplo de profissionalismo.

À minha amiga da coração Mariângela pelo apoio incondicional.

Aos membros das bancas examinadoras de qualificação e defesa pelas sugestões

Aos meus amigos do departamento de Tecnologia pela amizade e companheirismo.

Aos meus padrinhos Miguel e Rita, pelo amor que sempre tiveram por min.

À minha querida e amada prima Carina, pela sua amizade sincera.

À minha querida e amiga cunhada Ana Maria, que já faz parte da família.

Enfim, a todos que participaram direta ou indiretamente deste trabalho meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

Páginas

RESUMO.....	VII
SUMÁRIO.....	VI
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1. Importância da cana-de-açúcar.....	3
2. Importância do uso de materiais corretivos para cana-de-açúcar	4
3. Ciclo do Silício.....	9
3.1. O silício no solo.....	10
3.2 O silício na planta.....	11
3.3 Efeito do silício na cana-de-açúcar.....	13
4. Importância da adubação nitrogenada.....	15
5. Relação entre silício e nitrogênio.....	17
III. MATERIAS E MÉTODOS.....	19
IV . RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
V . CONCLUSÕES.....	47
VI.REFERÊNCIASBIBLIOGRÁFICAS.....	48

A ESCÓRIA DE SIDERURGIA COMO MATERIAL CORRETIVO E A INTERAÇÃO COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO - Dentre os elementos não essenciais absorvidos pela planta de cana-de-açúcar, o silício é um dos que pode aumentar o rendimento da cana-de-açúcar, sobretudo em condições de altas doses de nitrogênio. Entretanto, considerando o elevado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, os teores de silício disponíveis nestes solos são baixos. Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi avaliar, em cana-de-açúcar sob condição de casa de vegetação, a escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo e como fonte de silício e a sua interação com a adubação nitrogenada na produção de matéria seca, no teor de N e nos teores de silício no solo. Os tratamentos foram constituídos por duas fontes de corretivos (calcário e escória de siderurgia) em três doses (a metade, uma vez e duas vezes a dose recomendada), duas doses de N (uma vez e duas vezes a dose indicada), um tratamento controle (sem corretivo e sem nitrogênio). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial $2 \times 3 \times 2 + 1$, com quatro repetições. A matéria seca, a altura de plantas e o ângulo foliar não foram influenciados pelas doses de N. Houve interação C X N, para matéria seca, N na planta, Si na planta e no solo e altura da planta.

Palavras – chave: adubo N, cana-de-açúcar, calcário, escória de siderurgia,

EFFECT OF SLAG AS SOURCE OF SILICON AND INTERACTION WITH THE NITROGEN FERTILIZATION IN SUGAR CANE

SUMMARY- The mineral fertilization is an important factor in enhancing the productivity of sugar cane. Among the essential nutrients, the nitrogen (N) is highlighted by the amount absorbed and removed. It should also give importance to the elements called non-essential, such as silicon (Si), which is supposed to increase production of sugar cane, specially under high doses of N. The Si content of tropical soils, however, is very low due to the advanced weathering degree. The objective of this work was to evaluate the growth of sugar cane in greenhouse conditions and the effects of nitrogen (N) and silicon (Si) doses on dry matter production, N content; Si soil and plant contents. The experimental design was a randomized blocks with treatments organized in 2x3x2+1 in factorial scheme (two types of corrective material, three corrective material rates, two nitrogen rates plus a control treatment), with four replications. The experimental units were pots filled with 40 dm³ of medium texture Oxissol. The slag improved soil concentrations of Si as well as its plant contents. Under recommended doses, the slag do not differ from lime on the leaves angle, and plant height and dry matter. Levels of N alone do not affect the measured plant variables. However, the increasing on N levels reduced Si availability in the soil, but increased Si levels in the plant.

Keywords: fertilizer N, sugar cane, lime, slag

I – INTRODUÇÃO

Em sistema de cultivo intensivo visando alta produtividade é necessária, uma adubação adequada. Para que os fertilizantes aplicados tenham a máxima eficiência, torna-se necessária a correção da acidez do solo, o que tem sido feito normalmente através do emprego do calcário. Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, sendo o mais promissor a escória de siderurgia, que neutraliza a acidez do solo além de ser uma fonte de silício PRADO (2000). A escória de siderurgia contém o ânion silicato que corrige a acidez do solo, embora com ação mais lenta se comparado ao calcário PRADO & FERNANDES (2000a).

A escória de siderurgia tem sido estudada nos últimos tempos devido ao seu efeito corretivo na acidez do solo que ocorre devido a presença do anion silicato. Além de aumentar o pH do solo e fornecer Ca e Mg, a escória de siderurgia também é uma fonte de silício.

O silício não é considerado um nutriente de planta. Contudo, tem-se demonstrado o efeito benéfico de sua aplicação no aumento da produção de diversas culturas, principalmente nas acumuladoras de silício, como é o caso da cana-de-açúcar. Segundo SILVA (1973), o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas, como arroz, trigo, sorgo e cana-de-açúcar tem sido beneficiado com o aumento da disponibilidade de silício no solo.

Um dos efeitos benéficos do silício pode estar relacionado a influência que exerce na absorção de outros elementos. Entretanto, sabe-se que o nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pelas culturas e que a aplicação das maiores quantidades dos fertilizantes nitrogenados, não conduzem a aumentos significativos, apresentando implicações desfavoráveis. Os tecidos das plantas ficam tenros, susceptíveis à penetração de agentes externos, além do autossombreamento das plantas, com queda na taxa de fotossíntese e aumento do acamamento das plantas.

Nestas circunstâncias, a aplicação de silício pode contribuir para a máxima expressão do nitrogênio na produção agrícola. Segundo DEREN et al.(1994), o uso de silício tem promovido melhora na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese,

resultado da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o autossombreamento, sobretudo em condições de altas doses de nitrogênio (YOSHIDA et al., 1962; BALASTRA et al., 1989).

Entretanto, ainda são escassos trabalhos na literatura nacional que avaliaram a escória de siderurgia como fonte de silício, tendo alguns estudos na cultura do arroz PEREIRA et al. (2004); CARVALHO-PUTATTO et al. (2004). O mesmo se aplica quanto às informações sobre silício com outros nutrientes a exemplo do nitrogênio MAUAD et al. (2003). Portanto, especificamente em cana-de-açúcar estudos com a escória de siderurgia como fonte de silício e sua interação com a adubação nitrogenada, são escassos no Brasil.

Assim, objetivou-se estudar o efeito da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo, como fonte de silício em presença de doses de nitrogênio, nos atributos químicos do solo, no estado nutricional (N, Ca, Mg, K Si) e na produção de massa seca da cana-de-açúcar.

II - REVISÃO DE LITERATURA

1 - IMPORTÂNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Cultura dos primórdios da colonização do Brasil, a cana-de-açúcar é uma gramínea semi-perene que ocupa atualmente mais de 5 milhões de hectares em duas regiões distintas: Centro-Sul e Norte-Nordeste, separadas por regimes de chuvas diferentes.

Atualmente, a cana-de-açúcar é uma das mais importantes culturas agrícolas do país e do mundo, pois é uma das melhores opções de fonte de energia renovável (MAULE et al. 2001). Existe também a importância ambiental, pois o setor sucroalcooleiro é um dos pioneiros ao associar suas atividades ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (DML) para reduzir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera PINAZZA & ALIMANDRO. (2003). Ressalta-se que o “sistema cana”, seqüestra 20% de todas as emissões de CO₂ do setor petroleiros e derivados do Brasil (NEGRÃO & URBAN, 2007).

A produção brasileira de cana supera a marca de 387 milhões de toneladas, volume processado em 306 usinas - das quais 236 no Centro-Sul - e que faz do País o maior produtor mundial (UNICA, 2007), onde pouco mais de um terço da cana-de-açúcar cultivada no mundo está em solos brasileiro CANAOESTE (2007).

Segundo a (UNICA, 2007), o crescimento líquido no consumo de açúcar varia de 1,8% a 2% ao ano no mercado interno, com previsão de uma demanda de 11,5% em 2012. No mercado externo, o consumo de 150 milhões de toneladas deve passar para 170 milhões de toneladas em 2012. Espera-se que as exportações brasileiras passem dos atuais 19,6 milhões de toneladas para 26,8 milhões de toneladas em 2012.

No caso do álcool, o consumo no mercado interno alcança 14 bilhões de litros e as exportações, que hoje são de 3,1 bilhões podem passar para 7 bilhões, se alguns requisitos se confirmarem como: desenvolvimento do mercado, políticas públicas favoráveis e preço do petróleo e gasolina que estimulem o uso do álcool.

Segundo KORDÖRNER et al. (2002) apesar de o Brasil ser o país com a maior produção mundial de cana-de-açúcar, ainda há vários aspectos a serem solucionados. A produtividade média ainda é muito baixa comparada com a de outros países, provavelmente devido ao manejo inadequado da adubação. De acordo com o mesmo autor, a adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para a cultura, pois os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios.

2 - IMPORTÂNCIAS DO USO DE MATERIAIS CORRETIVOS PARA CANA-DE-AÇÚCAR

Os solos tropicais são ácidos devido à lixiviação de bases trocáveis resultante dos altos índices de precipitação pluvial (MALAVOLTA, 1984), e também, pela ausência no solo dos minerais primários e secundários que são responsáveis pela reposição dessas bases (VITTI & LUZ, 1997).

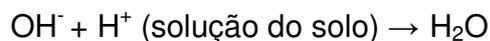
Segundo MALAVOLTA (1984), o problema é acentuado pelo próprio cultivo, pois, as plantas ao absorverem cátions, liberam quantidades equivalentes do íon H⁺. Apesar de não ser o único responsável pela acidez do solo, os íons H⁺ exercem influência direta na disponibilidade dos nutrientes. A remoção dos cátions trocáveis exige a substituição dos mesmos para satisfazer o equilíbrio de cargas entre a fase sólida e os próprios íons trocáveis.

A toxicidade do Al pode ocorrer em solos com reação ácida (pH < 5,5), vindo a interferir nas funções biológicas das plantas, reduzindo o crescimento das raízes e provocando a morte das mesmas (MALAVOLTA, 1984). Solos ácidos, ainda podem apresentar níveis tóxicos de manganês e provocar desordem fisiológica nas plantas.

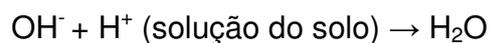
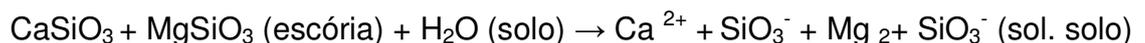
Nas áreas tropicais, sabe-se que a máxima eficiência dos fertilizantes depende da correção da acidez do solo, o que tem sido feito empregando-se os calcários. Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, sendo o mais promissor a escória de siderurgia (Prado, 2000).

Em áreas tropicais devido a sua elevada acidez deve - se utilizar corretivos, pois, neutralizam a acidez e ainda fornecem nutrientes ao solo, principalmente cálcio e magnésio. A neutralização da acidez constitui-se em neutralizar os H⁺, o que é feito pelo ânion OH⁻. Portanto, os corretivos da acidez devem ter componentes básicos para gerar OH⁻ e promover a neutralização. As reações de neutralização do H⁺ pelo calcário e pela escória de acordo com ALCARDE (1992) são as seguintes:

Calcário:



Escória:



Essas equações mostram que a ação neutralizante da escória é muito semelhante a do calcário, neste caso a base química SiO_3^- é fraca ($K_b = 1,6 \times 10^{-3}$), mas quando comparada com a base CO_3^- é mais forte ($K_{b1} = 2,2 \times 10^{-4}$) (ALGARDE, 1992).

Um dos aspectos conhecidos e responsáveis pela alta produção da cana-de-açúcar é a adequada nutrição da cultura, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos tropicais, sabe-se que, para que os fertilizantes aplicados tenham a máxima eficiência, torna-se necessária a correção da acidez do solo. São conhecidos os efeitos positivos de corretivos na maioria dos experimentos com a cultura da cana-de-açúcar, seja pela aplicação de calcário (ORLANDO FILHO et al., 1994), seja pela aplicação de escória de siderurgia (ANDERSON et al., 1987; PRADO, 2000).

A cana-de-açúcar, como gramínea, apresenta certa tolerância à acidez do solo, mas deve-se dar a devida atenção à correção do pH do solo. Além dos efeitos na imobilização do Al e Mn e na diminuição da fixação de P do solo, a calagem fornece cálcio, elemento bastante exigido pela cana-de-açúcar, e o magnésio, que depende do calcário utilizado (ROSSETTO & DIAS, 2005). Entretanto a correção da acidez é a lição número um para manutenção da fertilidade e, portanto, da sustentabilidade do solo.

Para avaliar o potencial da escória de siderurgia, comparado ao calcário a fim de ser empregado na cultura da cana-de-açúcar, há necessidade de acompanhar seus efeitos na nutrição da planta, uma vez que materiais corretivos podem afetar a fertilidade do solo, a disponibilidade dos elementos e conseqüentemente, a absorção e translocação dos nutrientes (SANCHES, 2003).

PEREIRA (1978) estudou o efeito corretivo de uma escória da USIMINAS, em comparação com sete calcários de diferentes origens, concluindo não haver diferenças entre os materiais quanto à correção da acidez, em amostras de dois Latossolo.

PRADO & FERNANDEZ (2001) também mostraram similaridade da escória de siderurgia na camada de 0-20 cm em pré-plantio da cana-de-açúcar, na correção da acidez do solo e na elevação da saturação por bases do solo. Existem muitas vantagens no uso da escória de siderurgia, como exemplo, seu efeito residual que dispensa aplicação anuais, uma vez que, em adição, este efeito.

2.1 - ESCÓRIA DE SIDERURGIA

A utilização de resíduos industriais na agricultura como fonte de nutrientes ou como corretivos da acidez é uma tendência decorrente da necessidade de minimizar os efeitos negativos do acúmulo de resíduos nos centros de produção (MARCIANO et al., 2001).

As escórias siderúrgicas são as fontes mais abundantes e baratas de silicatos. A escória de siderurgia é obtida durante o processo de produção do ferro-gusa, a sílica do minério de ferro reage com o cálcio do calcário no alto forno, produzindo um silicato de cálcio com impurezas. Entretanto, são originárias do ferro e do aço através de um do processo em altas temperaturas, geralmente acima de 1400C° da reação do calcário com a sílica (SiO₂) presente no minério de ferro. O material fundido é resfriado ao ar ou na água, sendo posteriormente seco e moído. Para cada 4 toneladas de ferro-gusa produzidas, é gerada, em média, 1 tonelada de escória de alto forno (COELHO, 1998).

O Brasil é o sexto maior produtor de ferro-gusa, com uma produção anual de cerca de 25 milhões de toneladas de escória por ano. O Estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional, responsável por mais da metade de todo ferro-gusa produzido no Brasil.

As escórias de siderurgias básicas são constituídas principalmente de silicatos de Ca e Mg, podendo conter, em pequenas concentrações, nutrientes como: P, S, Fe, Zn, Cu, B, Mo, Co e outros. Os elementos silicatados comportam-se no solo de maneira similar aos carbonatos e são capazes de elevar o pH, neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos (KORNDORFER et al.2004).

Para avaliar o potencial da escória de siderurgia, comparando-a ao calcário, para ser empregado na cultura da cana-de-açúcar, há necessidade de acompanhar os efeitos na nutrição da planta, uma vez que os materiais corretivos podem afetar a fertilidade do solo, a disponibilidade dos elementos e, conseqüentemente, a absorção e translocação de nutrientes.

Segundo KORNDORFER et al. (2004), a alta concentração de silicatos de Ca e Mg nas escórias possibilitam sua utilização como corretivo de acidez do solo e como fonte de Ca e Mg para as plantas, especialmente para solos arenosos com baixa fertilidade natural e baixa capacidade de trocas catiônicas (CTC).

As escórias apresentam o ânion silicato que corrige a acidez do solo, embora com ação mais lenta, comparado ao calcário (PRADO & FERNANDES, 2000a). Apesar de estarem disponíveis no mercado brasileiro, têm sido pouco comercializadas para esse fim (QUAGGIO, 2000), embora seja um destino viável agronomicamente para o aproveitamento de parte desses subprodutos da siderurgia, que nas últimas décadas vem se acumulando com o crescimento do parque siderúrgico nacional.

Na literatura nacional existem alguns trabalhos que tratam do uso desse resíduo como corretivo de acidez e sua relação com a resposta das culturas, especialmente as anuais, como arroz, sorgo e milho (PRADO et al., 2001). Segundo estes autores, em culturas semiperenes como a cana-de-açúcar, inexistem pesquisas em condições de campo, em todo ciclo de produção (cana-planta e soqueiras), embora existam indicações favoráveis de aplicação desse resíduo no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (1º e 2º corte) (PRADO et al., 2001).

A produtividade da cana-de-açúcar e a síntese de açúcar podem aumentar significativamente devido à aplicação de silicatos de cálcio na forma de escória. As maiores respostas são obtidas no primeiro ano após aplicação da escória, quando aumenta a absorção de Si pela planta (ANDERSON, 1991; RAID et al., 1992).

A solubilidade do Si nos diferentes tipos de escórias é bastante variável. As escórias de alto forno normalmente apresentam maiores teores de Si, mas com baixa solubilidade, enquanto que as de aciarias (produção de aço) apresentam menores teores de Si, mas de maior solubilidade.

Diversos trabalhos têm indicado a aplicação de escória de siderurgia para melhorar o desempenho agrônômico de diversas culturas, principalmente em países como Japão, China e EUA (KIDDER & GASCHO, 1977). Entretanto, a maioria dos experimentos utiliza escórias de diferentes tipos ou em combinação com outros

produtos com características semelhantes, como wollastonita e até cimento. Porém, todos estes produtos são constituídos de silicato e, conseqüentemente, apresentam Si e um efeito corretivo (ANDERSON et al., 1987).

As melhorias nas características químicas do solo pela utilização de escória decorrem da ação neutralizante do SiO_3^{-2} , e conseqüentemente, da elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, CTC e V% e, conseqüentemente, diminuição da concentração de H^+ e Al^3+ (PRADO & FERNADES, 2000 a, 2003; PRADO et al., 2002b).

3 – CICLO DO SILÍCIO

O silício é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre, estando logo após o oxigênio. É encontrado somente em formas combinadas, como sílica e minerais silicatados. Cerca de 80% dos minerais das rochas ígneas e metamórficas são silicatados, enquanto em rochas sedimentares o conteúdo é menor.

O silício é um elemento com propriedades elétricas e físicas de um semimetal, desempenhando no reino mineral um papel cuja importância pode ser comparável ao carbono nos reinos vegetal e animal. Semelhante a este, porém de modo menos intenso, o Si possui a capacidade de formar longas cadeias, muitas vezes ramificadas LIMA FILHO et al, (1999).

O ciclo do silício possui um elevado dreno abiótico, impedindo uma alta abundância na biosfera. Estas perdas substanciais do ácido silícico biosférico, para os drenos bióticos e abióticos, podem ser compensadas pela natureza, de modo global, por meio de sua abundância na crosta terrestre. Entretanto, em ecossistemas específicos, o problema da diminuição do silício pode se tornar economicamente importante. Solos utilizados intensivamente, principalmente com culturas acumuladoras de Si, podem tornar-se paulatinamente deficientes no elemento, pois a exportação do Si não é compensada, via de regra, com a fertilização silicatada (LIMA FILHO et al., 1999).

A figura 1 mostra, resumidamente, o ciclo biogeoquímico do Si.

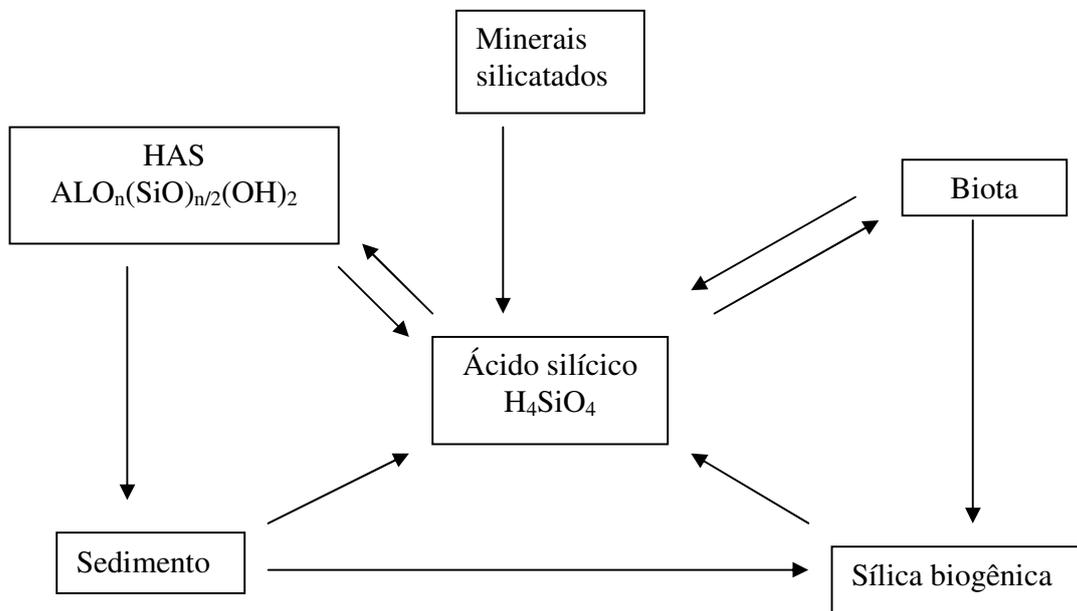


Figura 1. Ciclo biogeoquímico do Si que ocorre nos oceanos e nas massas continentais (adaptada de EXLEY, 1998).

3.1 – O SILÍCIO NO SOLO

O silício está presente na solução como ácido monossilícico, a maior parte não dissociada, o qual é prontamente absorvido pelas plantas (RAVEN, 1983).

Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de silício presente no solo são: Si solúvel (H_4SiO_4 – ácido monossilícico), que desprovido de carga elétrica, influencia positivamente no comportamento da sílica, com relação aos vegetais (RAIJ & CAMARGO, 1973); Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e nos minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). As solubilidades destes minerais dependem da temperatura, pH, tamanho de partículas, composição química e presença de rachaduras em sua estrutura. A dissolução destes minerais é afetada, também, por

fatores de solo como: matéria orgânica, umidade, potencial de oxi-redução e teores de sesquióxidos (KORDÖRNFER et al., 2004).

Os silicatos são sais nos qual a sílica é combinada com oxigênio e outros elementos, em mais de 95% das rochas terrestres LIMA FILHO et al, (1999). Entretanto várias classes de solo da região do Brasil central, principalmente em áreas sob vegetação de cerrado, são pobres em silício disponível as plantas RAIJ & CARMARGO, (1973), com isso podem-se esperar resposta positiva para aplicação de Si na forma de fertilizantes e/ou corretivos silicatados, principalmente quando se aplicado em plantas acumuladoras de Si, como é o caso da maioria das gramíneas.

O óxido de silício (SiO_2) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais; entretanto, em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, o Si é encontrado basicamente na forma de quartzo, apola ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e outras formas não disponíveis às plantas BARBOSA FILHO et al. (2001).

No estado de São Paulo, RAIJ & CAMARGO (1973), avaliando solos com diferentes texturas e grau de intemperismo, verificaram valores menor de Si solúvel no Latossolo fase arenosa e os maiores em Podzólica argiloso. Isso se deve à reduzida porcentagem de argila no Latossolo, aliada à menor superfície total, quando comparado ao Podzólico, menos intemperizado e mais argiloso.

3.2 –. O SILÍCIO NA PLANTA

A essencialidade do silício é muito difícil de ser obtida devido à sua abundância na biosfera. Apesar disso, o fornecimento de silício é benéfico para muitas espécies vegetais (MARSCHNER, 1995).

O silício pode estimular o crescimento e a produção vegetal através de várias ações indiretas, como a diminuição do auto-sombreamento, deixando as folhas mais eretas; decréscimo na suscetibilidade ao acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos; proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Al, Mn, Fe e Na; diminuição na incidência de patógenos (EPSTIEN, 1994; MARSCHNER, 1995).

O silício penetra na planta na forma de ácido monossilícico (YOSHIDA, 1975; TAKAHASHI, 1996). No interior da planta 99% de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, o restante, 1%, encontra-se na forma coloidal ou iônica (YOSHIDA, 1975).

A absorção do silício é um processo ativo, isto é, que exige gasto de energia, mesmo quando as raízes estão em presença de altas concentrações do elemento (MALAVOLTA, 2006)

O silício ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado no xilema, e possui a tendência natural de se polimerizar. Na planta o silício se encontra nos tecidos de suporte/sustentação do caule e nas folhas, podendo ser encontrado também em pequenas quantidades nos órgãos (KORDÖRNFER et al., 2004).

A redistribuição do silício não deve ocorrer ou, se o fizer, deve ser muito baixa. De fato o silício é depositado como sílica amorfa ou como os chamados fitólito tridimensionais o que evidentemente impede a mobilidade no floema (MALAVOLTA, 2006). RUSSEL (1976) Informa que grande parte do Si das gramíneas está presente como uma película contínua de sílica hidratada ou de complexo sílica-orgânica na parede celular.

O silício é um elemento químico envolvido em funções relacionadas com a transpiração, capaz de se encontrar na epiderme das folhas formando uma barreira mecânica (EPSTIEN, 1999). A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração, por sua vez, provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor (KORDÖRNFER et al., 2004).

As plantas cultivadas variam quanto aos teores de silício presente no tecido vegetal. Segundo MIYAKE & TAKAHASHI (1985), as plantas se caracterizam em três tipos, quanto à absorção de Si:

- acumuladoras, com um teor bastante elevado de Si, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica (cana-de-açúcar e arroz);
- não acumuladoras, caracterizando-se por um baixo teor do elemento, mesmo com altos níveis de Si no meio, indicando um mecanismo de exclusão (tomateiro);

- intermediárias, as quais apresentam uma quantidade considerável de Si, quando a concentração do elemento no meio é alta (cucurbitáceas e soja).

Em culturas como o arroz e a cana-de-açúcar, o teor de Si pode igualar ou exceder aquele do nitrogênio (EPSTEIN, 1995; RAFI et al., 1997).

3.3 - EFEITO DO SILÍCIO NA CANA-DE-AÇÚCAR

O silício não é considerado um elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. No entanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, aveia) têm sido beneficiados com o aumento da disponibilidade de Si para as plantas (ELAWAD & GREEN, 1979; SILVA, 1973).

Segundo PREEZ (1970), mesmo sabendo que as funções do silício na cana-de-açúcar, ainda, não foram completamente esclarecidas, é certo que o elemento desempenha um papel importante para o crescimento e produtividade, havendo sugestões inclusive de o mesmo possuir funções metabólicas ainda não muito bem elucidadas, como na produção de lignina, indução de deficiência de zinco e formação das folhas (EMADIAN & NEWTON, 1989; KORDÖRNER & DATNOFF, 1995; BELANGER et al, 1995).

De modo geral, nas monocotiledôneas (arroz, cana-de-açúcar, trigo, cevada, etc.), o destino da maior parte do Si transportado das raízes pela corrente transpiratória é acumulado (precipitado) como SiO_2 em órgãos da parte aérea, tornando-se imóvel e, portanto, não sendo redistribuído JONES & HANDRECK, (1967).

O silício aparece na cana-de-açúcar em altas concentrações, podendo variar desde 0,14% em folhas jovens até 6,7% nos colmos e folhas velhas. No Hawaí, as folhas contendo menos de 0,5% de silício são frequentemente afetadas por um sintoma denominado "freeckling". A causa deste sintoma é, ainda, bastante controversa, porém a maioria dos pesquisadores atribui à falta de Si e a desequilíbrios nutricionais KORDÖRNER et al. (2000). ANDERSON et al. (1991), sugeriram que o nível crítico de silício na matéria seca da folha de cana-de-açúcar seja maior que 1,0%. Em condição

de campo, quando as lâminas foliares contêm menos que 1,4 % de Si a planta pode apresentar uma redução drástica no crescimento e sintomas típicos de deficiência (“leaf freckling” - folha sardenta) nas lâminas foliares diretamente expostas aos raios solares ELAWAD et al. (1982).

Segundo ORLANDO FILHO et al. (1994), os sintomas de deficiência de Si, são pequenas manchas brancas circulares (sardas), mais severas nas folhas mais velhas, perfilhamento escasso, senescência prematura das folhas mais velhas.

A deficiência de silício resulta em senescência prematura e brotamento deficiente da cana-de-açúcar GASCHO et al. (1993). Em alguns casos de trabalhos com cana-de-açúcar conduzidos por FOX et al. (1967), os aumentos de produção de açúcar foram elevados pela aplicação de silício. Segundo DATNOFF et al. (2001), o aumento de produção de cana-de-açúcar devido à aplicação de silício varia de 11 a 16% na cana-planta e de 11% a 20% na cana-soca. BITTENCOURT et al. (2003), estudando os efeitos do silicato de cálcio em Latossolo Vermelho Escuro, observaram aumento de 7% na produção de colmos de cana-de-açúcar e de 11% na produtividade de açúcar. SILVEIRA Jr. et al. (2003) também obtiveram aumentos de produção de colmo na cana-planta e cana-soca com a aplicação de silicato, sendo estes superiores aos efeitos do calcário. Ambos os trabalhos concluíram que não há efeito do silicato de cálcio nas características tecnológicas da cana-de-açúcar.

ANDERSON et al. (1991) e RAID et al. (1992), também observaram que a produtividade da cana-de-açúcar e a síntese de açúcar podem aumentar significativamente devido à aplicação de silicatos de cálcio na forma de escória. As maiores respostas são obtidas no primeiro ano após aplicação da escória, quando aumenta a absorção de Si pela planta.

Os efeitos do silício na produção de cana-de-açúcar parecem estar associados a maior resistência a pragas ou a maiores tolerância ao estresse hídrico proporcionado pela acumulação deste elemento nas folhas FARIA, (2000). Além disso, o uso de silício tem promovido melhora na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese DEREN et al. (1993), resultado de uma menor abertura do ângulo foliar, deixando as folhas mais eretas e diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas

densidades populacionais e altas doses de nitrogênio BALASTRA et al. (1989). Existem relatos de que o silício induz o aumento da altura das plantas sem consequência de maior comprimento da lâmina foliar FARIA (2000).

De acordo com MIYAKE & TAKAHASHI (1983), as plantas podem ser classificadas em três tipos, quanto à absorção de Si: acumuladoras (com um teor elevado de Si), intermediárias e não acumuladoras. Em geral, são consideradas plantas acumuladoras de silício, aquelas que possuem teor foliar acima de 1%, e não acumuladoras plantas com teor de silício menor que 0,5%, Ma et al. (2001). Segundo KORDÖRNFER et al. (1998), o arroz e a cana-de-açúcar apresentam grande acúmulo de silício, sendo consideradas como plantas acumuladoras.

Embora tenha sido verificado efeito benéfico da aplicação de Si no aumento de produtividade da cana-de-açúcar, CASAGRANDE et al. (1981) não observaram aumento na produtividade, nem mesmo melhoria da qualidade tecnológica da cana-planta e cana-soca com adição de até quatro toneladas de cimento em solo Podzólico Vermelho Amarelo var. Iaras.

4- IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

O nitrogênio é o constituinte mais abundante dos cloroplastos. A maior parte do nitrogênio foliar está localizado nas proteínas solúveis do ciclo de Calvin e dos tilacóides, onde se localizam as clorofilas, os fotossistemas transportadores de elétrons e os cofatores. Somente a enzima ribulose-bis-fosfato carboxilase oxigenase (Rubisco), que cataliza a fixação de carbono na ribulose-bisfosfato, constitui entre 30 e 50% de todo o nitrogênio foliar e forma aproximadamente 50% de toda proteína solúvel das plantas (LAWLOR, 1994). Para cada molécula de clorofila existem 50 átomos de N nos tilacóides dos cloroplastos. Observa-se relação linear entre o aumento do conteúdo de nitrogênio na folha e a Rubisco, bem como entre o teor de clorofila e o aumento da eficiência da fotossíntese, tanto em plantas anuais quanto perenes (EVANS, 1989).

O nitrogênio é o nutriente mais exigido em quase todas as plantas perenes, tendo efeito direto na área foliar, aumentando a produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, a produção (BHELLA & WILCOX, 1986). Nos diversos estudos de deficiência de nitrogênio em cana-de-açúcar, além do diâmetro dos colmos serem sensivelmente diminuído, a redução do perfilhamento também tem sido destacado por diferentes autores (DILLEWIJIN, 1952; HAAG & ACCORSI, 1978; IAA/PLANALSUCAR, 1977).

O nitrogênio é o quarto elemento mais abundante na planta, depois do carbono, hidrogênio e oxigênio. É um constituinte de aminoácidos, nucleotídeos e coenzimas. Portanto, existe uma relação restrita entre o teor de nitrogênio e o crescimento das plantas, considerando que um dos principais sintomas da deficiência do nitrogênio é o amarelecimento ou clorose das folhas, devido à inibição da síntese de clorofila (EPSTIEN, 1975), o que resulta principalmente na diminuição da fotossíntese e, conseqüentemente, na síntese de aminoácidos essenciais.

De forma geral, a cana-de-açúcar com produtividade de 100 t ha⁻¹ de colmos, extrai cerca de 132 kg ha⁻¹ de nitrogênio (MALAVOLTA, 1980). PRADO et al. (2002) verificaram, em experimento conduzido no Estado de São Paulo, extração média de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio e, por isso, é considerada uma cultura altamente extratora deste nutriente.

A cana-planta apresenta normalmente baixa resposta à adubação nitrogenada. Entretanto, as maiores probabilidades de resposta ao N ocorrem quando há eutrofismo do solo; quando se cultiva a cana-de-açúcar pela primeira vez e sob cultivo mínimo (ORLANDO FILHO, 1994).

A baixa resposta da cana-planta a adubação nitrogenada, deve-se a fixação biológica do N₂ atmosférico por bactérias associadas ao sistema radicular, isto, tem sido demonstrado em vários experimentos (ORLANDO FILHO, 1994).

ROSSETO & DIAS (2005) citaram, que apesar da revisão de AZEREDO et al, (1986) ter indicado que , de 135 experimentos analisados, houve resposta ao N em apenas 19% deles, sabe-se que a extração do elemento pela cana-de-açúcar é muito grande, cerca de 100 a 130 kg ha de N, e as doses aplicadas como fertilizantes são

apenas de 30 a 60 kg ha de N. Além disto, a eficiência de utilização do N do fertilizante é baixa.

A cana-planta utiliza outras fontes de N além do fertilizante, a taxa de mineralização do N da matéria orgânica do solo, após o preparo é alta, e certamente contribui com grande parte do fornecimento desse nutriente, pois a movimentação do solo ocorre em épocas quentes e chuvosas, que favorecem a mineralização. Estimativas feitas por MORELLI et al. (1987) revelam alto estoque de N contido nos restos culturais que a cana-de-açúcar deixa no solo (raízes, rizomas); existe ainda o N contido na muda da cana-de-açúcar a ser plantada, que pode fornecer por volta de 12 kg há de N (CARNEIRO et al., 1995); possivelmente pode-se contar, ainda, com certa contribuição da fixação biológica de N. Outra fonte que pode concorrer para o total de N da cana-planta, cuja contribuição está sendo ainda pesquisada é a absorção de amônia da atmosfera pelas folhas (HOLTAN-HARTWING & BOCKMAN, 1994).

5 – RELAÇÃO ENTRE SILÍCIO E NITROGÊNIO

Em sistemas de produção intensiva, que atingem mais de duas colheitas por ano, maior fertilização é requerida, especialmente com nitrogênio, nutriente altamente exigido pela maioria das culturas. Segundo MALAVOLTA (2006), existem relatos na literatura de que, com maior aplicação de N, os tecidos das plantas ficam tenros, suscetíveis à penetração de agentes externos como pragas e patógenos, além do maior autossobreamento das plantas no campo, com queda na taxa de fotossíntese.

O grau de expressão do Si, nos processos relacionados no fluxograma, está relacionado com o nível de nitrogênio. O efeito do Si tende a ser mais intenso em cultivos com adubações nitrogenadas pesadas (TAKAHASHI, 1995).

De modo geral, as plantas terrestres contêm Si em quantidades comparáveis aos macronutrientes, variando de 0,1 a 10%, colocando-se como um constituinte mineral

majoritário. Em culturas como arroz e a cana-de-açúcar, o teor de Si pode igualar ou exceder aquele do N (EPSTIEN, 1995; RAFI et al., 1997).

Nestas circunstâncias, a aplicação de silício poderá garantir a máxima expressão do nitrogênio, sustentando o potencial da cana-de-açúcar em sistemas de cultivo intensivo. Um dos primeiros trabalhos que observaram efeito positivo entre Si x N foi relatado por OTA (1964) no Japão, em solo submetido à aplicação de silício utilizando como fonte a escória de siderurgia.

III - MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Unesp – Campus Jaboticabal, cujas coordenadas geográficas são 21°15'22" Sul, 48°18'58" Oeste e altitude de 575 metros. No período de 2 de novembro de 2005 a dezembro de 2006

O solo utilizado foi coletado na camada de 0 a 20 cm de profundidade, no sítio Stéfani, município de Jaboticabal, classificado como um Latossolo Vermelho distrófico, textura média (EMBRAPA, 1999). O solo foi seco e peneirado usando peneira com malha de 4 mm. A análise química do solo de acordo com a metodologia de RAIJ et al. (2001), encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1- Análise química do solo antes do início do experimento.

pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	(H+Al) mmol _c dm ⁻³	SB	T	V %
4,2	17	5	0,5	4	2	58	6,5	64,5	10

A cultura utilizada foi a cana-de-açúcar (*Sacharum spp*), variedade SP- 70-1011.

Os tratamentos utilizados foram duas fontes de material corretivo (calcário e escória de siderurgia) com três doses cada (metade, uma e duas vezes a dose recomendada), duas doses de nitrogênio (uma e duas vezes a dose recomendada) e um tratamento controle (sem corretivo e sem nitrogênio).

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x3x2 +1 (duas fontes de corretivos, três doses de material corretivo e duas doses de nitrogênio), com um tratamento controle (sem corretivo e sem nitrogênio), com quatro repetições. Portanto, totalizando treze tratamentos, com 52 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso de plástico com

capacidade para 40 dm³ de terra. No quadro 2 é apresentado o esquema da análise de variância do delineamento experimental utilizado neste estudo.

Quadro 2. Esquema da análise de variância

Causas de Variação	Graus de Liberdade
Testemunha vs. Fatorial	1
Fontes de material corretivo (F)	1
Doses de material corretivo (DMS)	2
Doses de nitrogênio (N)	1
Interação F X DMS	2
Interação F X N	1
Interação DMC X N	2
Interação F X DMC X N	2
(Tratamento)	(12)
Blocos	3
Resíduos	36
Total	51

As fontes de material corretivo utilizadas foram calcário dolomítico (CaO = 40,3%, MgO = 5,84%, PN = 86,5%, PRNT = 75,32%, Si total = 6,8% e Si solúvel em Na₂CO₃ + NH₄NO₃ = 0,01%) e a escória de siderurgia de alto forno (CaO = 27,7%, MgO = 4,84%, PN= 61,47%, PRNT = 44,36%, Si total = 15,2 % e Si solúvel em Na₂CO₃ + NH₄NO₃ = 0,41%), As doses foram: a metade, uma vez e duas vezes a dose recomendada para elevar a saturação de bases (V%) a 60 (RAIJ et al.,1997), correspondentes em equivalente CaCO₃., a 1,61, 3,22 e 6,44 t ha⁻¹ respectivamente. Desta forma as doses foram de 2,14; 4,28 e 8,56 t ha⁻¹ para o calcário e 3,63; 7,27 e 14,54 t ha⁻¹ para a escória de siderurgia.

O solo foi preparado com a adição dos materiais corretivos nas suas respectivas doses, no dia 2 de novembro de 2005 onde ficou incubado por um período de 90 dias. Neste período, a umidade da terra foi mantida em torno de 70% da sua capacidade de campo, para que ocorresse a reação dos corretivos no solo. Decorrido o período de

incubação, a terra foi coletada e submetida a uma nova análise química, seguindo a metodologia de RAIJ et al. (2001).

Quadro 3. Análise química do solo após o período de incubação (90 dias)

Trat	pH	M.O em CaCl ₂	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H + Al mmolc/dm ⁻³	SB	T	V %
Test	4,0	13	4	0,6	3	1	42	4,6	46,6	10
E₁	5,4	13	5	1,1	23	4	22	28,1	50,1	56
E₂	5,5	14	8	0,9	33	7	20	40,9	60,9	67
E₃	5,8	16	14	0,9	54	9	16	63,9	79,9	80
C₁	5,4	14	4	1,0	25	5	20	31,0	51,0	61
C₂	5,6	13	5	0,8	26	9	18	35,8	53,8	67
C₃	6,6	13	5	0,6	44	13	10	58,6	68,6	85

- E₁; E₂; E₃ e C₁; C₂; C₃ são respectivamente, metade, uma e duas vezes a dose recomendada, para a escória e o calcário, para elevar o V= 60%.

Após a incubação do solo foi realizada a adubação básica, aplicando-se 200 mg dm⁻³ de P (PRADO & FERNANDES, 2000a) na forma de superfosfato simples, aplicado todo na época do plantio em todos os tratamentos. Para o K aplicou-se 220 mg dm⁻³ (PRADO & FERNANDES, 2000a) na forma de cloreto de potássio, sendo aplicado 30% no plantio e os 70% restantes parcelados em duas vezes (aos 30 e 60 dias após a emergência dos brotos). Para os nutrientes nitrogênio, boro e zinco seguiu-se a recomendação de MALAVOLTA (1980), aplicando-se, 0,5 mg dm⁻³ de B (H₃BO₃) e 5 mg dm⁻³ de Zn (ZnSO₄.7H₂O).

As quantidades de nitrogênio utilizadas foram: uma vez e duas vezes a dose recomendada, para experimentos em vasos, ou seja, 300 e 600 mg dm⁻³, na forma de uréia. A adubação nitrogenada foi parcelada: 1/3 no plantio, 1/3 aos 30 dias e 1/3 aos 60 dias após a emergência dos brotos.

O plantio foi realizado imediatamente após a adubação básica, utilizando-se seis toletes de cana-de-açúcar com uma gema cada. Após a emergência dos brotos, realizou-se o desbaste, deixando quatro plantas por vaso. Foi realizada irrigação para manter o solo com 70% da sua capacidade de campo.

O estado nutricional das plantas (teores de nutrientes, nitrogênio, cálcio, magnésio, potássio e silício), foi avaliada através da amostragem da folha +3 excluída a nervura central (BATAGLIA et al., 1983) aos nove meses após a brotação (TRANI et al., 1983)

O material vegetal foi lavado em água corrente, solução de detergente (1 mL L^{-1}) e passado duas vezes em água deionizada. Em seguida, foi seco em estufa de circulação forçada de ar ($65-70 \text{ }^\circ\text{C}$) até peso constante. Após a secagem, todo o material foi pesado para obtenção da produção de matéria seca das folhas e posteriormente, moído em moinho Willey com peneira 40 mesh.

As determinações dos teores de nutrientes no tecido vegetal seguiram-se a metodologia descrita por BATAGLIA et al.(1983).O nitrogênio foi determinado por digestão sulfúrica e destilação e os demais nutrientes, por digestão nitroperclórica.

Para o teor do silício no tecido vegetal seguiu-se a metodologia descrita por Bataglia et al., (1983), sendo que realizou-se algumas adaptações na análise em relação ao tempo de incineração (1 minuto e 40 segundos, foi colocado um cadinho de cada vez, no lado esquerdo da mufla) do tecido vegetal na mufla e na temperatura (398 C°) da secagem das cinzas com o NaOH. As adaptações realizadas foram em função de se obter um melhor uma estimativa mais exata dos teores de silício no material vegetal.

A análise iniciou-se pesando uma amostra de 0,100g do tecido vegetal em um cadinho de níquel e incinerada a 450°C na mufla. Ao esfriar, foi adicionado 1mL de solução de hidróxido de sódio 100 g L^{-1} , retornando para a mufla a uma temperatura de 398 C° até a secagem do material. Em seguida, dissolveu-se o material com 10 mL de água deionizada, homogenizou-se com bastão de teflon e uma alíquota de 2 mL foi transferida para um balão volumétrico de 100mL, completando-se o volume com água

deionizada e homogenizou-se. Após, retirou-se 10 ml do extrato diluído e transferiu-se para um balão de 50 mL, e completou-se o volume com água deionizada até 25 mL mais ou menos, foram adicionados 1ml de solução de ácido sulfúrico ($2,5 \text{ mol L}^{-1}$) e 2 ml de solução de molibdato de amônio (50 g L^{-1}). Homogenizou-se e deixou-se em repouso por 5 minutos. Adicionou-se, 1 mL de solução de ácido oxálico (100 g L^{-1}), agitou-se, mais 3 ml de solução de ácido sulfúrico foram adicionadas, agitou-se, mais 1 mL de solução de ácido ascórbico (20 g L^{-1}), agitou-se, completou-se o volume com água deionizada e homogenizou-se, ficando em repouso por 15 minutos. Após realizou-se a leitura da absorvância nos extratos, em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm.

Ao final do experimento (10 meses após o plantio), avaliou-se em cada planta por tratamento a altura, ângulo foliar e uma estimativa da área foliar. A área foliar foi determinada de acordo com HERMANN & CÂMARA(1999): com o auxílio de réguas as folhas +1 e +2 foram medidas em seu comprimento e em sua maior largura, cujos valores foram utilizados para estimar a área de cada folha. Nesta época também foi realizada uma nova amostragem do solo e as amostras submetidas à análise química para fins de fertilidade (segundo o método descrito por RAIJ et al., 2001), bem como também se realizou a determinação de silício no solo.

A determinação da concentração de silício no solo foi feita por colorimetria, após a extração do solo com um sal. O extrator cloreto de cálcio é um sal que tem a capacidade de extrair o Si “disponível” que se encontra na solução do solo, podendo extrair algumas formas pouco polimerizadas (KILMER, 1965).

A metodologia utilizada foi a descrita por KORDÖRNFER et al. (2004b), onde a extração foi feita com uma solução de cloreto de cálcio ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) a partir da relação 1:10, isto é para cada 10 g de solo colocou-se 100 mL da solução extratora em frascos plásticos de 150 mL que foram tampados e agitados horizontalmente por 1 hora, esperou-se 30 minutos, filtrou-se o extrato utilizando-se papel filtro número 42. A determinação do silício no extrato foi feita no dia seguinte, retirando-se uma alíquota de 10 ml do extrato e transferindo-se para um copo plástico de 50 mL, acrescentou-se 1 ml da solução sulfo–molíbdica, e decorridos 10 minutos acrescentou-se 2 mL da

solução de ácido tartárico (200 mg L^{-1}). Após 5 minutos adicionou-se 10 mL da solução de ácido ascórbico (3 g L^{-1}). Decorrido uma hora realizou-se a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm.

Com base nos resultados obtidos, realizou-se a análise de variância para os diversos tratamentos (SAS, 2002).

IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo

Na tabela 1 são apresentados os resultados dos testes F da análise de variância dos atributos químicos do solo, conforme o esquema de análise de variância apresentado na página 19. Além disso, é apresentado o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de variação (CV) de cada atributo químico do solo.

Os resultados mostram uma interação significativa ($p < 0,01$) entre os níveis dos fatores F X DMC, para as variáveis pH, H+Al e V%. Para as demais variáveis (P, K, Ca, Mg SB, e Si), os resultados mostram uma interação significativa ($p > 0,01$) entre os níveis dos fatores F X DMC X N. A interação da significância destes fatores isoladamente, para estas variáveis, fica prejudicada.

Para o fator nitrogênio (Tabela 1), os resultados mostram uma diferença significativa ($p < 0,01$) para as variáveis pH, H+Al e V%. A interpretação da significância deste fator isoladamente para estas variáveis, indica que o nitrogênio interfere na pH e conseqüentemente na acidez potencial e no V% de forma independente das fontes e das doses de material corretivo utilizada.

Para o pH, os resultados mostram que houve diferença significativa entre as doses de nitrogênio utilizadas. Com o aumento da dose de nitrogênio, verificou-se uma diminuição do pH do solo, indicando que adubos nitrogenados na forma amoniacal acidificam o solo. Estes resultados estão de acordo com a hipótese de Malavolta (1989), de que, quando se utiliza adubos nitrogenados na forma amoniacal ou amídica, como ocorre com a uréia, há necessidade de corrigir a acidez do solo. A uréia libera íon amoniacal no solo, NH_4^+ este será oxidado a nitrato por bactérias específicas, e essa reação de nitrificação, libera H^+ o que aumenta acidez (MALAVOLTA, 1989).

Com o aumento da adubação nitrogenada, verificou-se uma diminuição do pH e conseqüentemente um aumento da acidez potencial e diminuição do V% do solo.

Tabela 1. Efeito dos tratamentos estudados nos atributos químicos do solo após a colheita da cana-de-açúcar.

Fonte (F)	pH CaCl ₂	M.O g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg mmol _c	H+Al dm ⁻³	SB	CTC	V %	Si mg dm ⁻³
calcário	4,86	13,6	49,19	0,4	36,1	9,3	29	46	74,6	60,0	10,4
dolomítico											
escória de siderurgia	4,76	13,7	49,8	0,6	40,6	7,7	30	49	79,4	60,3	17
Teste F	17,74**	0,13 ^{ns}	0,8 ^{ns}	144,2**	65,9**	21,2**	3,43 ^{ns}	16,3**	19,7**	0,1 ^{ns}	569**
Doses do material Corretivo (DMC)											
0,5	4,43	13,7	44,6	0,46	25,9	4,2	36,4	30,5	66,9	45,9	11,5
1,0	4,73	13,6	50,6	0,48	36,4	7,7	30,4	44,5	74,9	60	14
2,0	5,28	13,7	53,2	0,56	52,8	13,6	22,1	67	89,1	75	16,3
Teste F	436,7**	0,06 ^{ns}	46,4**	8,06**	786**	236**	89,4**	753**	147**	448**	122**
Doses de Nitrogênio (N)											
N1	4,9	14	50,8	0,52	39	8,5	28,3	48,1	76,4	61,4	14,3
N2	4,74	13	48,1	0,5	37,6	8,4	31	46,6	77,6	59	13
Teste F	77,01**	4,3 ^{ns}	12,6*	3,14 ^{ns}	6,8*	0,05 ^{ns}	9,6**	4,2**	1,11 ^{ns}	9,9**	25,8**
Testemunha	4,25	14,5	50	0,47	7,75	2	44,5	10,22	54,7	18,75	10,3
Tratamento	204,8**	2 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,36 ^{ns}	921**	101**	88,8**	707**	133**	836**	45,5**
Bloco	1,5 ^{ns}	7,8**	0,15 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,3 ^{ns}	1,83 ^{ns}	2,7 ^{ns}	1,93 ^{ns}	2,6 ^{ns}	1,15 ^{ns}	2,3 ^{ns}
(F) X (DMC)	20,2**	1,25 ^{ns}	2,9 ^{ns}	10,4**	0,71 ^{ns}	16,6**	3,8**	1,48 ^{ns}	0,59 ^{ns}	9,01**	94**
(F) X (N)	1,97 ^{ns}	0,37 ^{ns}	2,1 ^{ns}	0,35 ^{ns}	10,3**	0,49 ^{ns}	0,51 ^{ns}	4,01 ^{ns}	4,13*	0,28 ^{ns}	12,2*
(DMC) X (N)	1,32 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1,87 ^{ns}	5,36**	0,68 ^{ns}	3,30*	0,7 ^{ns}	0,92 ^{ns}	2,7 ^{ns}
(F) X (DMC) X (N)	0,4 ^{ns}	1,5 ^{ns}	15,2**	6,05**	6,37**	7,6**	0,09 ^{ns}	6,28**	2,7 ^{ns}	0,34 ^{ns}	9,6**
R²	97	49	80	85	98	94	89	98	93	98	96
CV %	1,72	8,66	5,25	14,8	5,38	15,5	9,8	6	4,9	4,83	7,1

***, e ^{ns} - Significativo à 1 % e 5 % de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

Na tabela 2 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação entre os níveis de fonte (F) e doses de material corretivo (DMC) para a variável pH. Os resultados mostram que o valor médio do pH diferiu significativamente pelo teste de Tukey nos três níveis de DMC, tanto na fonte calcário como na fonte escória e que houve diferença significativa entre calcário e escória na dose 2,0 de DMC.

Com o aumento das doses de material corretivo observou-se um aumento do pH do solo, como era de se esperar. O menor valor de pH encontrado foi o da testemunha(4,25) e os maiores valores foram na dose 2,0 de calcário e escória (5,44 e 5,1), sendo que o calcário na dose 2,0 proporcionou um valor de pH maior do que a escória. O que indica ser o calcário mais eficiente na correção do pH do solo quando comparado com a escória de siderurgia.

Tabela 2. Valor do pH do solo, considerando as fontes e as doses de material corretivo (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Fonte de Corretivos (F)	Doses de corretivo (DMC)		
	0,5*	1,0	2,0
Calcário	4,42Ac	4,72Ab	5,44Aa
Escória	4,45Ac	4,7Ab	5,1Ba

* 0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Na tabela 3 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação entre os níveis de fonte (F) e doses de material corretivo (DMC) para a acidez potencial do solo(H + Al). Os resultados mostram que o valor médio da acidez potencial diferiu significativamente pelo teste de Tukey nos três níveis de DMC, tanto na fonte calcário como na fonte escória e que houve diferença significativa entre calcário e escória na dose 2,0 de DMC.

Na medida em que as doses de calcário e de escória foram aumentadas, houve redução da acidez potencial (H +Al), causada pela elevação do pH em função da reação das bases CO_3^{2-} e SiO_3^{2-} no solo. (ALCARDE, 1992), que reduziu o H^+ na

solução do solo. A contínua remoção de H^+ da solução do solo conduz também à precipitação do íon Al^{3+} , na forma de $Al(OH)_3$ (PAVAN & OLIVEIRA, 1997). Resultados semelhantes foram obtidos por RIBEIRO et al. (1989), PRADO et al. (2002a), PRADO & FERNANDES (2003) e FONSECA (2007).

A dose 2,0 de calcário e de escória foram as doses que promoveram maior neutralização da acidez potencial no solo, diminuindo de 44,5 para 19,6 e 24,6 $mmol_c dm^{-3}$, respectivamente. Sanches (2003), trabalhando com dose de 6 $mg ha^{-1}$ de silicato de cálcio, observou redução de $H+Al$ de 40,25 para 32,03 $mmol_c dm^{-3}$.

Tabela 3. Valor do $H + Al$ ($mmol_c dm^{-3}$) no solo, considerando as fontes e as doses de material corretivo (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Fonte de Corretivos (F)	Doses de corretivo (DMC)		
	0,5*	1,0	2,0
Calcário	36,2Aa	30,6Ab	19,6Bc
Escória	36,5Aa	30,2Ab	24,6Ac

* 0,5, 1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na tabela 4 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação entre os níveis de fonte (F) e doses de material corretivo (DMC) para a saturação por bases. Os resultados mostram que o valor médio da saturação por bases diferiu significativamente pelo teste de Tukey nos três níveis de DMC, tanto na fonte calcário como na fonte escória e que houve diferença significativa entre calcário e escória na dose 2,0 de DMC.

Observou-se que a dose 2,0 de calcário proporcionou maior saturação por bases do que a escória de siderurgia. Como era de se esperar, pois, o pH foi maior e a acidez potencial menor para o calcário na dose 2,0, conseqüentemente uma saturação por bases maior,

Efeito semelhante de silicatos na neutralização da acidez do solo também foi obtido por outros autores, tanto na forma de escória de siderurgia (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004; PRADO & FERNANDES, 2000, 2003).

Tabela 4. Valor do V% no solo, considerando as fontes e as doses de material corretivo (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Fonte de Corretivos (F)	Doses de corretivo (DMC)		
	0,5*	1,0	2,0
Calcário	44,4Ac	58,5Ab	77,2Aa
Escória	47,4Ac	60,7Ab	72,7Ba

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Na tabela 5 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação entre os níveis de fonte (F) e doses de nitrogênio (N) para a CTC do solo. Os resultados mostram que o valor médio da CTC não diferiu significativamente pelo teste de Tukey nos dois níveis de nitrogênio, tanto na fonte calcário como na fonte escória e que houve diferença significativa entre calcário e escória na dose N1 de nitrogênio.

Pôde-se verificar, então, que a menor dose de N proporcionou o maior valor de CTC para a escória de siderurgia, isto se deve ao fato que aplicação da dose N1 de nitrogênio na presença da escória de siderurgia, apresentou diferença no teor de K no solo quando comparado ao calcário. O teor de K no solo foi maior quando se utilizou a escória, o que resultou em um maior valor da CTC do solo.

Tabela 5. Valor da CTC($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo, considerando as fontes de material corretivo e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Fonte de corretivos (F)	Doses de nitrogênio (N)	
	N1*	N2
calcário	72,9Ba	76,3Aa
escória	79,9Aa	78,8Aa

*N1 e N2, significam respectivamente uma e duas vezes a dose de nitrogênio recomendada. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Nas tabelas 6, 7, 8, 9, e 10 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação entre fonte (F) e doses de material corretivos (DMC) e doses de nitrogênio (N), para a variável fósforo, potássio, cálcio magnésio e soma de bases.

Os resultados para o teor de fósforo no solo (tabela 6), mostram que ocorreu diferença significativa pelo teste de Tukey na dose 0,5 de calcário para as demais doses de calcário e de escória dentro da dose de 300 mg dm⁻³ de N. Para a dose de 600 mg dm⁻³ de N, a dose 2,0 de calcário e a dose 1,0 e 2,0 de escória não diferiram entre si. Estes resultados estão de acordo com RAIJ (1991), a correção da acidez do solo favorece o aproveitamento do P ou do elemento aplicado como fosfato solúvel em água. Conseqüentemente, doses de material corretivo, reduzem as necessidades em fósforo.

Para as doses de N, verifica-se que houve diferença significativa nas doses 1,0 e 0,5 de calcário e escória respectivamente, onde ocorreu uma diminuição do teor de fósforo do solo, quando se aumentou a dose de N.

Tabela 6. Teor de fósforo(mg dm⁻³) no solo, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses			Corretivos		
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	42Ab	53Aa	55Aa	49Aa	52Aa	54Aa
600	46Ab	46Bb	53Aa	41Bb	52Aa	51Aab

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Na tabela 7 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação fonte e doses de material corretivo e doses de nitrogênio para o teor de potássio no solo. Os resultados mostram um efeito significativo do teste de Tukey para

as doses de escória, onde a dose 0,5 e 2,0 difere entre si, mas não diferem da dose 1,0. Porém, para o tratamento com calcário, não houve diferença na concentração de potássio no solo com o aumento das doses. E as doses de N não interferiram no teor de K no solo.

A concentração de K no solo, apresentou um efeito positivo com o aumento das doses de escória, sendo que a maior dose aplicada foi a que proporcionou a maior concentração desse elemento no solo (0,78 e 0,72 .mmol_c dm⁻³), para as duas doses de N. Porém, para o tratamento com calcário, não houve diferença na concentração de potássio no solo com o aumento das doses, ficando o teor desse elemento no solo, menor que o teor encontrado na testemunha (0,5 , mmol_c dm⁻³)

Tabela 7. Teor de potássio(mmol_c dm⁻³) no solo, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses			Corretivos		
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	0,42Ab	0,37Ab	0,35Ab	0,5Abc	0,67Aac	0,78Aa
600	0,32Ab	0,37Ab	0,37Ab	0,57Aac	0,5Abc	0,72Aa

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Na tabela 8, 9 e 10 estão apresentados os desdobramentos dos graus de liberdade das interações fonte e doses de materiais corretivos e doses de nitrogênio para o teor de cálcio, magnésio e soma de bases no solo.

A concentração de Ca no solo (tabela 8) apresentou um efeito significativo do teste de Tukey para as doses de calcário e escória na dose 300 mg dm⁻³ de N, onde a dose 2,0 de calcário e de escória apresentou o maior teor desse elemento no solo (49 e 59 mmol_c dm⁻³) e diferiram das demais doses. Na dose de 600 mg dm⁻³ de N o calcário apresentou efeito significativa para do teste de Tukey para as três doses, entretanto para a escória de siderurgia a dose 2,0 que diferiu das doses 0,5 e 1,0, que

não diferiram entre si. E não houve diferença significativa entre as doses de N aplicadas, exceto na dose 2,0 de escória.

Pôde-se observar que os corretivos aumentaram o teor de cálcio no solo, onde a testemunha diferiu de todos os tratamentos, isto é, apresentou o menor teor desse elemento no solo (7,75 mmolc dm⁻³). Consequentemente, o calcário e a escória são fontes de cálcio para o solo.

Tabela 8. Teor de cálcio (mmolc dm⁻³) no solo, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses			Corretivos		
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	24Abc	34Abc	49Ab	27Abc	40Abc	59Aa
600	23Abc	34Ab	51Aa	28Ab	37Ab	52Ba

*0, 5, 1,0 e 2, 0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

A concentração de Mg no solo (tabela 9) apresentou um efeito significativo do teste de Tukey para as doses de calcário e escória, com o aumento das doses observou-se aumento do teor desse elemento no solo, sendo que a dose 2,0 de ambos os corretivos apresentou o maior teor de Ca no solo e que a dose 2,0 de escória e de calcário diferiram entre si na dose de 600mg dm⁻³ N. Porém para o tratamento com nitrogênio, não houve diferença na concentração de magnésio no solo, exceto na dose 1,0 de escória. Com o aumento das doses de N, ocorreu um aumento do teor de Mg no solo.

Pôde-se observar que os corretivos aumentaram o teor de magnésio no solo, onde a testemunha diferiu de todos os tratamentos, isto é, apresentou o menor teor desse elemento no solo (2 mmolc dm⁻³). O baixo teor desse elemento no solo favoreceu a resposta dos corretivos

Segundo RAIJ et al. (1997), teor de Mg menor que 4 mmolc dm⁻³ é baixo, de 5-8 mmolc dm⁻³ é médio e maior que 8 mmolc dm⁻³ é alto. A partir da dose 1,0 de calcário e escória o teor no solo passou a ser alto, Conseqüentemente o calcário dolomítico e a escória de siderurgia são fontes de magnésio para o solo.

Entretanto, em solos com teor de Mg trocável inferior a 3,6 mmolc dm⁻³, como é o caso do presente trabalho, Kidder & Gascho (1977) recomendaram a aplicação complementar de 40 kg ha⁻¹ de Mg, em pré-plantio, em área na qual será utilizada a escória de siderurgia.

Tabela 9. Teor de magnésio(mmolc dm⁻³) no solo, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses			Corretivos		
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	4Abc	8,5Ab	16Aa	4,5Abc	5,5Bb	12,7Aa
600	4Abc	7,7Ab	15,7Aa	4,2Abc	9Ab	10Ab

*0, 5, 1,0 e 2, 0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

A soma de bases do solo (tabela 10) apresentou um efeito significativo do teste de Tukey para as doses de calcário e escória, com o aumento das doses observou-se aumento da soma de bases no solo, sendo que a dose 2,0 de ambos os corretivos apresentou o maior valor de soma de bases no solo e diferiram das demais doses. Porém para o tratamento com nitrogênio, não houve diferença na soma de bases no solo, exceto na dose 2,0 de escória. Com o aumento das doses de N, ocorreu uma diminuição da soma de bases, isto, ocorreu provavelmente ao baixo teor de Mg encontrado na dose 2,0 de escória com a dose de 600 mg dm³.

Nota-se que os dois corretivos promoveram incremento no valor de Ca, Mg e K, que refletiu na soma de bases do solo.

Tabela 10. Soma de bases ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do solo, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento das interações significativas da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm^{-3}	Doses corretivos					
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	29Abc	43Ab	66Aa	32Abc	46Ab	72Aa
600	28Abc	43Ab	67Aa	33Abc	46Ab	63Ba

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para o silício no solo os resultados mostram que o valor médio do Si diferiu significativamente pelo teste de Tukey nas doses 1,0 e 2,0 de escória, da dose 0,5 de escória e das três doses de calcário, dentro das doses de N e que houve diferença significativa entre as doses de N na dose 2,0 de escória.

Em relação às fontes de material corretivo analisadas, notou-se maior concentração de Si no solo tratado com escória de siderurgia (24 e $19,3 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação ao calcário ($10,6$ e $11,0 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 11). Assim, verificou-se, um aumento do teor de Si no solo com o aumento das doses de escória de siderurgia, ao passo que com o aumento das doses de calcário. não diferiram no teor de silício do solo (tabela 11), o que permite concluir que a escória é uma fonte de Si. Avaliando a disponibilidade de silício no solo, mediante a aplicação de escórias de siderurgia, CARVALHO-PUPATTO et al., (2004), PEREIRA et al., (2007) e FONSECA (2007) também observaram incremento significativo na concentração do silício no solo.

O baixo teor de Si “disponível” obtido na testemunha ($10,3 \text{ mg dm}^{-3}$) do Latossolo Vermelho distrófico é importante, pois, aumenta o potencial de resposta da escória de siderurgia como fonte de silício para o solo. Na literatura, outros autores relataram concentração baixa de Si nos solos tropicais, embora, seja variável com o tipo de solo. Nesse sentido, KORNDÖRFER et al. (1999), observaram em quatro solos (LRd, Lea, LVa e AQA) do Triângulo Mineiro, teores de Si “disponível” variando de $3,3$ a $10,0 \text{ mg dm}^{-3}$ extraído com $\text{CaCl}_2 0,0025 \text{ mol L}^{-1}$. MELO (2005) analisando a concentração de

Si “disponível” , também extraído com CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, em oito solos do estados de São Paulo, encontrou teores de Si variando de 4,1 a 43,3 mg Kg⁻¹. Esse baixo teor de Si é conseqüência do avançado grau de intemperismo em que se encontram os solos de regiões tropicais e dos elevados teores sesquióxidos de Fe e Al (MALAVOLTA,1980), que são os principais responsáveis pela adsorção de Si em solução (MENGEL & KIRKBY, 1987). Outro fator importante, que contribui para a diminuição do teor de Si disponível no solo, é a extração do elemento por culturas acumuladoras, associada à falta de adubação silicatada (LIMA FILHO et al., 1999).

Na tabela 11 verifica-se que a dose 2,0 da escória de siderurgia com a menor dose de nitrogênio (300 mg dm⁻³), apresentou a maior concentração de silício no solo (24 mg dm⁻³). Com isso, observou-se que a aplicação dos matérias corretivos incrementou a concentração de silício disponível no solo, especialmente na menor dose de nitrogênio (Quadro 10). Este (dados discordam com os obtidos por MAUAD et al., (2003), que citou McKeague & Cline, (1963); Raij & Camargo, 1973): que diz ser o ácido monossilícico um ácido fraco, de pequena força iônica e que estando em solução, não compete com o nitrato por sítios de ligações no solo.

Tabela 11. Teor de silício (mg dm⁻³) no solo, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses			Corretivos		
	calcário			escória		
	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	10,6Ac	10,5Ac	10,6Ac	12,14Ac	17,9Ab	24Aa
600	9,7Ac	9,7Ac	11,0Ac	11,7Ac	16,2Ab	19,3Ba

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

4.2 – Efeito dos tratamentos na nutrição da cana-de-açúcar

Na tabela 2 são apresentados os resultados dos testes F da análise de variância para os nutrientes (N, K, Ca, Mg e Si) de planta, conforme o esquema de análise de variância apresentado na página 19. Além disso, é apresentado o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de variação (CV) de cada nutriente avaliado.

Os resultados mostram uma interação significativa com $p < 0,01$, entre os níveis dos fatores F X DMC X N, para as variáveis N, K, Ca e Si na planta. Para a variável Mg o resultado mostra uma interação significativa com $p < 0,05$, entre os níveis dos fatores F X DMC X N. A interpretação da significância destes fatores isoladamente para as variáveis estudadas fica prejudicada.

Pelos resultados da análise química do tecido vegetal realizada após 10 meses de cultivo das plantas, nota-se, com exceção do cálcio que todos os nutrientes analisados apresentaram efeito significativo em relação ao tratamento testemunha (Tabela 2). Tendo em vista o efeito positivo dos materiais corretivos na produção de M.S da cana-de-açúcar, era de se esperar diferenças no estado nutricional das plantas através da análise foliar nas diferentes doses de corretivo.

Com a aplicação dos materiais corretivos e de nitrogênio, notou-se que todos os elementos apresentaram teores considerados adequados para a cana-de-açúcar. Segundo RAIJ & CANTARELLA (1996), N = 18-25; P = 1,5-3; K = 10-16; Ca = 2,0-8,0; Mg = 1,0-3,0; S = 1,5-3,0 g kg⁻¹ exceto para o potássio, que o maior teor encontrado na folha +3 foi de 7,3 g Kg⁻¹, abaixo do teor considerado como adequado para a cultura da cana-de-açúcar.

Os dados obtidos no presente trabalho, discordam com os de PRADO & FERNANDES (2000b) e PRADO et al. (2002) que citou GURGEL (1973), que estudaram o efeito do silicato de cálcio e do calcário nos teores foliares dos macronutrientes na cana-de-açúcar, onde observaram que não houve diferença entre os tratamentos, para os teores de macronutrientes no tecido foliar da cana-planta.

Tabela 12. Resultado da análise de variância para os teores de N, K, Ca, Mg e Si na planta da cana-de-açúcar.

Fonte (F)	N	K	Ca	Mg	Si
	g Kg ⁻¹				
calcário dolomítico	21,8	5,76	6,91	2,14	4,8
escória de siderurgia	22,6	7,54	6,92	1,42	6,7
Teste F	32,3**	135**	0,00 ^{ns}	156,7**	414**
Doses de matéria Corretivo(DMC)					
0,5	20,3	6,0	6,3	1,41	5,5
1,0	23	6,7	7,5	1,86	5,7
2,0	23	7,3	6,9	2,1	6
Teste F	182**	22,3**	25,2**	46**	10,6**
Doses de Nitrogênio (N)					
N1	21	6,64	7,2	1,7	5,6
N2	23	6,66	6,6	1,9	6
Teste F	245**	0,02 ^{ns}	22,1**	7,5**	14,9**
Testemunha	16,5	5,4	6,7	0,72	4
Tratamento	531**	20,7**	0,99 ^{ns}	10,3**	109,83**
Bloco	0,6 ^{ns}	5,2**	2,1 ^{ns}	2,7 ^{ns}	1,52 ^{ns}
(F) X (DMC)	0,03 ^{ns}	0,13 ^{ns}	33,4**	9,3**	1,6 ^{ns}
(F) X (N)	21**	0,46 ^{ns}	22,7**	0,08 ^{ns}	35**
(DMC) X (N)	2,3 ^{ns}	4,24*	63,3**	1,12 ^{ns}	12,9**
(F)X(DMC)X(N)	10,6**	15,9**	23,5**	3,6*	32,5**
R²	92	87	99	91	95
CV %	2,15	8,1	6,7	12	5,7

** , * e ^{ns} – Significativo á 1% e 5%de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

Na tabela 13 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação entre fonte e doses de materiais corretivos e doses de nitrogênio, para o teor de nitrogênio na planta.

Os resultados mostram que o nível 0,5 de calcário e de escória diferenciou significativamente pelo teste de Tukey dos demais níveis na dose 300mg dm⁻³ de N. Para a dose de 600 mg dm⁻³ de N, o dose 0,5 de calcário diferenciou-se dos outros níveis, tanto para o calcário como para a escória, e que a dose de 0,5 de escória diferenciou-se das doses 1,0 e 2,0 de escória, e também houve diferença significativa

entre os níveis de N para todas as doses e fontes de corretivo, exceto para a dose 0,5 de calcário.

Com a aplicação do nitrogênio, notou-se que o teor de N obtido na cana-de-açúcar, variou de 21 a 23g kg⁻¹, diferenciando da testemunha que apresentou teor de 16,5 g kg⁻¹.

As fontes de corretivo, não afetaram o teor de N, ficando os valores do nutriente dentro da faixa adequada, o que permite inferir que o teor de Si presente na escória de alto forno não foram elevadas o suficiente para reduzir o teor de N planta. Com isso, o aumento do teor de N foi devido à adubação e não ao efeito corretivo do calcário e da escória.

Tabela 13. Teor de nitrogênio (g Kg⁻¹) na planta, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses corretivos					
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	19,5Ab	21,9Ba	21,8Ba	18,7Bb	22,5Ba	22,3Ba
600	20,5Ac	23,7Aab	23,4Aab	22,7Ab	24,5Aa	24,5Aa

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Na tabela 14 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação entre fonte e níveis de material corretivo e níveis de nitrogênio para o teor de silício no solo.

Analisando os efeitos das fontes e doses de corretivos dentro de 300 mg dm⁻³ de N, verifica-se que a dose 0,5 de ambos os corretivos diferiram das demais, onde apresentaram o menor teor de silício na planta. Para 1,0 e 2,0 de calcário o teor de Si não diferiu entre si, mas diferenciou das doses 1,0 e 2,0 de escória que apresentaram o maior teor de silício na planta. Na dose de 600 mg dm⁻³ de N os níveis de calcário não

diferiram entre si, mas diferenciaram das doses de escória. As doses de escória não apresentaram diferença significativa entre elas.

As doses de N apresentaram diferença significativa em todas as doses de corretivos, exceto na dose 1,0 de escória. Pelos resultados, observa-se que com o aumento das doses de N, ocorreu um aumento do teor de silício na planta, este resultado era esperado devido o teor de silício no solo ter diminuído com o aumento das doses de nitrogênio. Estes dados estão discordando com os observados por MAUAD, (2003) e FONSECA, (2007), que observaram à medida que se aumentaram a dose N, houve uma diminuição dos teores de Si na planta, mas estes resultados foram apresentados na cultura do arroz e do capim-marandu.

Tabela14. Teor de silício(g Kg⁻¹) na planta, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses corretivos					
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	5,5Ab	4,5Ac	4,6Bc	5,6Bb	6,6Aa	6,4Ba
600	3,8Bb	4,8Ab	5,5Ab	7,0Aa	6,8Aa	7,5Aa

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Nas tabelas 15, 16 e 17 são apresentados os desdobramentos dos graus de liberdade da interação entre fonte (F) e doses de materiais corretivos (DMC) e doses de nitrogênio (N), para os teores de potássio, cálcio e magnésio. na planta.

O teor de K na planta ficou abaixo do indicado como adequado para a cana-de-açúcar, isto era esperado, pois, no solo em todos os tratamentos o teor ficou muito baixo. Os resultados mostram que a dose 2,0 de escória dentro da dose de 300 mg dm⁻³ de N, diferiu das demais apresentando o maior teor de K na planta. E que não houve efeito significativo para o tratamento nitrogênio, exceto na dose 1,0 de calcário.

Tabela 15. Teor de potássio(g kg⁻¹) na planta, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses corretivos					
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	4,6Ac	6,4Abc	6,1Abc	6,8Ab	7,2Ab	8,7Aa
600	5,7Ab	5,0Bbc	6,7Aab	6,9Aa	8,0Aa	7,5Aa

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Para o Ca na planta as doses 0,5 e 1,0 de calcário e escória respectivamente apresentaram o maior teor de Ca na planta, e diferiram das demais doses na dose de 300 mg dm⁻³ de N. E que na dose de 600 mg dm⁻³ de N as doses de escória na diferiram entre si, já para o calcário verifica-se diferença significativa pelo teste de Tukey, onde a dose 2,0 apresentou o maior teor de Ca na planta.

O tratamento nitrogênio não apresentou significância, exceto na dose 1,0 de calcário, onde ocorreu uma diminuição do teor de cálcio na planta, com o aumento da dose de N.

Tabela 16. Teor de cálcio(g Kg⁻¹) na planta, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses corretivos					
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	8,9Aa	6,4Ab	7,3Ab	6,4Ab	8,5Aa	5,8Bb
600	4,8Bb	7,0Aa	6,9Aa	5,0Bb	7,9Aa	7,8Aa

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Na tabela 17 os resultados mostram que o teor de Mg na planta diferiu significativamente pelo teste de Tukey na dose 1,0 e 2,0 de calcário para as demais doses. E que não houve diferença significativa para as doses de nitrogênio.

Pêlos resultados, verifica-se que o calcário foi a melhor fonte de Mg para as planta.

Tabela 17. Teor de magnésio (g Kg^{-1}) na planta, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm^{-3}	Doses corretivos					
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	1,5Ab	2,1Aa	2,5Aa	1,2Ab	1,3Ab	1,5Ab
600	1,6Ab	2,5Aa	2,5Aa	1,2Ab	1,4Ab	1,8Ab

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

4.3. Efeitos dos tratamentos no desenvolvimento da planta da cana-de-açúcar

Na tabela 3 são apresentados os resultados do teste F da análise de variância no desenvolvimento da cana-de-açúcar, conforme o esquema de análise de variância apresentado na página 19. Além disso, é apresentado o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de variação (CV).

Os resultados mostram uma interação significativa ($p < 0,05$), entre os níveis dos fatores F X N e DMC X N para a AF^{+1} e para AF^{+1} e AF^{+2} respectivamente. Para a matéria seca e altura de planta os resultados também mostram uma interação significativa ($p < 0,01$), mas, entre os níveis dos fatores F X DMC X N. Com isso a interpretação da significância destes fatores isoladamente para estas variáveis fica prejudicada.

Tabela 18. Resultado da análise de variância na massa seca, altura de planta, ângulo foliar, AF⁺¹ e AF⁺².

Fonte (F)	Massa Seca (g)	Altura da Planta (cm)	Ângulo foliar	AF +1 cm ²	AF+2 cm ²
calcário dolomítico	179	175,6	31,1	310	312
escória de siderurgia	187	176,2	28,8	334	224
Teste F	2,6 ^{ns}	0,04 ^{ns}	4,83 ^{ns}	3 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Doses de matéria Corretivo(DMC)					
0,5	159	171,8	28,9	321	320
1,0	176	162,9	30,2	351	336
2,0	213	193,0	30,8	294	299
Teste F	47,12 ^{**}	29,4 ^{**}	1,2 ^{ns}	5,93 [*]	2,6 ^{ns}
Doses de Nitrogênio (N)					
N1	187,7	177	29,6	310	310
N2	178,3	174	30,4	334	326
Teste F	4,13 [*]	0,54 ^{ns}	0,72 ^{ns}	3,18 ^{ns}	1,34 ^{ns}
Testemunha	191	247	28,4	285	282
Tratamento	0,96 ^{ns}	145 ^{**}	0,77 ^{ns}	2,27 ^{ns}	2,31 ^{ns}
Bloco	0,87 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,7 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,56 ^{ns}
(F) X (DMC)	1,8 ^{ns}	0,67 ^{ns}	2,18 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,6 ^{ns}
(F) X (N)	0,25 ^{ns}	3,04 ^{ns}	1,03 ^{ns}	4,45 [*]	1,8 ^{ns}
(DMC) X (N)	7,57 ^{**}	57,2 ^{**}	0,08 ^{ns}	4,96 [*]	6,7 [*]
(F)X(DMC)X(N)	8,27 ^{**}	18,7 ^{**}	3,87 ^{ns}	2,18 ^{ns}	0,68 ^{ns}
R²	79	90	43	53	47
CV %	8,7	6,3	11,9	14,5	14,6

^{**}, ^{*} e ^{ns} – Significativo á 1 % e 5 % de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

Pelo desdobramento dos graus de liberdade da interação fonte e doses de matérias corretivos e doses de nitrogênio (tabela 19), observou-se na dose 300mg dm⁻³ de N, que a dose 2,0 de escória, diferenciou das demais doses de corretivos, exceto para a dose 2,0 de calcário. Para a dose de 600 mg dm⁻³ de N, somente a dose 0,5 de escória e de calcário apresentaram diferença significativa.

Houve resposta da cana-de-açúcar ao aumento das doses de escória e calcário Esta resposta na produção de matéria seca seguiu uma tendência linear indicando que pode haver aumento acima da dose aplicada. PRADO & FERNANDES (2000b), também

observaram aumento da matéria seca da cana-de-açúcar quando utilizaram calcário e escória.

Para a adubação nitrogenada observou-se diferença para a dose de calcário 0,5 dentro das doses de N, onde com o aumento da dose de nitrogênio houve uma diminuição da matéria seca. Em relação à testemunha (191 g/vaso) todos os tratamentos apresentaram matéria seca menor, com exceção da dose 2,0 dos corretivos, onde a matéria seca foi maior, diferindo da testemunha. Com isso conclui-se que não houve uma resposta positiva do aumento das doses de nitrogênio em cana-de-açúcar. Segundo Korndorfer (1994), a adubação nitrogenada em cana-de-açúcar, está normalmente associada a um maior crescimento vegetativo e, portanto, maior umidade na cana-de-açúcar.

Outra justificativa para a falta de resposta a adubação nitrogenada, pode ser: segundo ROSSETO & DIAS (2005), devido à presença do N contido na muda da cana-de-açúcar a ser plantada, que pode fornecer por volta de 12 Kg ha de N (CARNEIRO et al., 1995), possivelmente pode-se contar, ainda com certa contribuição da fixação biológica de N. Segundo ORLANDO FILHO et al. (1994), que bactérias associadas ao sistema radicular da cana- planta tem sido demonstrada em vários experimentos.

Tabela 19. Matéria seca da planta, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses corretivos					
	calcário			escória		
	0,5*	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	190Ab	183Ab	209Ab	160Ab	185Ab	232Aa
600	135Bb	181Aa	211Aa	156Ab	186Aa	200Aa

*0,5,1,0 e 2,0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Na tabela 19 é apresentado o desdobramento dos graus de liberdade da interação fonte e doses de matérias corretivos e doses de nitrogênio, para a altura de planta.

Analisando o efeito das doses e fontes de corretivos dentro das doses de N, verifica-se que para dose de 300 mg dm⁻³ de N, com o aumento das doses de corretivos ocorreu um aumento da altura das plantas, sendo que a dose 2 de escória (222cm) diferenciou da dose 2 de calcário (188cm). Para a dose de 600 mg dm⁻³, verificou-se que tanto para escória como para o calcário ocorreu aumento e depois uma diminuição da altura com o aumento das doses de ambos os corretivos. Agora para doses de N dentro das doses de corretivos observou-se que não houve diferença significativa, exceto para a dose 2 de escória, que com o aumento da dose de N ocorreu uma diminuição da altura da planta. Deve-se dar atenção para o fato que a testemunha foi a que apresentou o maior valor de altura de planta (247cm), pois a cana-de-açúcar é uma planta de metabolismo C₄, é considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química, com alta taxa fotossintéticas. Além disso, o longo ciclo de crescimento da planta resulta em elevadas produção de matéria seca. PRADO & FERNANDES (2000b), não observou interação significativa dos corretivos para a altura da planta.

Tabela 20. Altura da planta, considerando a aplicação de fonte e doses de corretivos e doses de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Dose de Nitrogênio mg dm ⁻³	Doses corretivos					
	calcário			escória		
	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
300	152Ac	181Ab	188Ab	144Ac	175Ab	222Aa
600	195Aa	139Ab	198Aa	196Aa	156Ab	164Bb

*0, 5, 1,0 e 2, 0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Considerando o desdobramento dos graus de liberdade da interação doses de matérias corretivos e doses de nitrogênio para a AF+1 e AF+2 (tabela 21 e 22). Analisando dose de material corretivo dentro de N, verificou-se que o aumento das doses de corretivo dentro da dose de 300 mg dm⁻³ N, não apresentou diferença significativa. Para o aumento das doses de corretivo dentro da dose de 600mg dm⁻³ de N, verificou-se que a dose 1,0 de corretivo não diferiu das demais doses, e a dose 2,0 de corretivo foi a que apresentou a menor área foliar. Para a dose de N dentro das doses de corretivos, não se observou efeito do N para todas as doses de corretivo, exceto para a dose de N dentro da dose 0,5 da AF+2.

Portanto observa-se que os resultados favoráveis da escória foram em consequência do efeito corretivo, que conforme discutido, não houve diferença entre a escória e o calcário para a área foliar, matéria seca e altura de planta. Estes resultados estão em discordância com os observados por AYRES (1966); ANDERSON et al., (1991) e RAID (1922), constataram que o acréscimo da produção da cana-de-açúcar pela aplicação da escória deveu-se ao efeito nutricional do Si. DEREN et al., (1993) afirma que o uso do silício promove melhoria na arquitetura da planta.

Tabela 21. Valor da AF+1, considerando as doses de material corretivo e de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Doses de nitrogênio mg dm ⁻³	Doses de corretivo (DMC)		
	0,5	1,0	2,0
300	294Aa	325Aa	312Aa
600	348Aa	378Aab	277Ab

*0, 5, 1,0 e 2, 0, significam respectivamente metade, uma e duas vezes a dose recomendada para elevar o V% a 60. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na horizontal, e maiúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%.

Tabela 22. Valor da AF+2, considerando as doses de material corretivo e de nitrogênio (desdobramento da interação significativa da análise de variância).

Doses de nitrogênio mg dm⁻³	Doses de corretivo		
	0,5	(DMC) 1,0	2,0
300	278Aa	338Aa	316Aa
600	361Ba	335Aab	283Ab

V – CONCLUSÕES

A escória de siderurgia promove aumento na concentração de Si disponível no solo

A escória de siderurgia também incrementou a produção de massa seca devido ao seu efeito corretivo

A presença de Si no material corretivo quando associado à adubação nitrogenada diminuiu a concentração de Si no solo e aumentou o teor de Si na planta

O uso da escória de siderurgia, como fonte de silício e material corretivo, foi eficiente no solo.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C.; **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretação. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícola, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6).

ANDERSON, D.L; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglade, Histosols. **Agronomy Journal**, v. 83, p. :870-874, 1991.

ANDERSON, D. L.; JONES, D. B. SNYDER, G. H. Response of a rice sugarcane rotation to calcium silicat slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**. v. 79, p. 531-535, 1987.

AYRES, A.S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugar cane on low silicon soils. **Soils Science**, v. 101, p. 216-227, 1966.

BALASTRA, M. L. F.; PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O.; VILLREAL, .P. Effects of silica level on some properties of Oriza sativa straw and hult. **Canadian Journal Botany**, Ottawa, v. 67, n. 8, p. 2356-2363, 1989.

BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, P.R., GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983, 48p. (Boletim Técnico, 78).

BELLANGER, R.R.; BOWEN, P.A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J.G. Soluble silicon, its role in the crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, Quebec, v.47, n.4, p. 329-336, 1995.

BHELLA, M.; WILCOX, G.E. Yield and composition of muskmelons as influenced by preplanting and trickle applied nitrogen. **Hortscience**, v. 21, p. 86-88, 1986

BITTENCOURT, M.F.; NOKAGHI, R.M.; KORNDORFER, G.H.; VOSS, L.R.; JARUSSI, J.R.; CAMARGO, M.S.; PEREIRA, H.S.; Efeito do silicato de cálcio sobre a produção e qualidade da cana-de-açúcar-Usina Equipa, Cd Rom XXIX Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, p.66, 2003.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 325-330, 2001.

CANAOSTE. Setor sucroalcooleiro. Disponível em : <http://www.canaoste.com.br/principal.php?ago=35&local=setorcanavieiro>. Acesso em: 27 de mar. 2007.

CASAGRANDE, J.C.; ZAMBELLO, E.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de silício em cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, v.1, p. 54-60, 1981

CARVALHO-PUTATTO, J. G.; CRUSCIOL, C.A. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escória. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1213-1218, 2004.

COLELHO, P. E. Da escória ao vidro. **Revista Limpeza Pública**, São Paulo, v. 49, p. 36-45, 1998.

DATNOFF, L.E.; SYNDER, G.H .& KORNDORFER, G.H. Silicon in Agriculture, Amsterdam: **Elsevier Science**, v.8, p. 424, 2001 (Studeis in Plant Science).

DEREN, C. W.; GLAZ, B.; SNYDER, G. H. 1993. Leaf-tissue silicon content of sugarcane genotypes grown on Everglades Histosols. **J. Plant Nutr.** 16(11): 2273-2280.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E; ZINDER, G. H.; MARTÍN, F. Silicon concentration disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 733-737, 1994.

DILLEWIJN, C. van. Botany of sugarcane. Waltham, Crônica Botanica, 1952. 371p.

ELAWAD, S.H; GREEN Jr., V.E. 1979. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista Il RISO**, Milano, v. 28, n. 3, p. 235-253, 1979.

ELAWAD, S. H.; GASCHO, G. J.; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 481-483, 1982.

EMADIAN, S.F.; NEWTON, R.J. Growth enhancement fo loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 134, p.98-103, 1989.

EMBRAPA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412.p.

EPSTEIN, E. Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975, p.341.

EPSTIEN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Davis, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions, and problems. **Photosynthesis Research**, v. 46, p. 37-39, 1995.

EPSTEN, E. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Planta. Molecular Biology, v.50, p. 641-664, 199.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, v.78, p.9-19,1989.

EXLEY, C. Silicon in life a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 69, n. 3, p. 139-144, 1998.

FARIA, R.J. **Influencia do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Viçosa, 2000.

FONSECA, I. M. **Efeito da escória de siderurgia como fonte de silício e sua interação com a adubação nitrogenada em Brachiaria brizantha**. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidades Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

FOX, R.L.; SILVA ,J.A. ; YOUNGE, O. R. ; PLUNKNETT, D.L. & SHERMAN, G.D. Soil and plant silicon and silicate response by sugarcane. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.31, p. 775-779, 1967.

GASCHO, G.J.; ANDERSON, D.L. & BOWEN, J.E. Sugarcane. In: BENNETT, W.F., ed. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. Saint Paul, ASP Press/The American **Phytopathological Society**, p. 37-42, 1993.

GURGEL, M. N. A. **Efeitos do silicato de cálcio e sua interação com o fósforo no estado nutricional, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.** 1979, 62p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.

HAAG, H.P. & ACCORSI, W.R. Deficiências de macro e micronutrientes em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), variedade CB41-76, cultivada em solução nutriente. **Anais...** Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, v.35, p.25-67, 1978.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

IAA/PLANALSUCAR. Guia para identificação de doenças e deficiências nutricionais da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, 1977. 56p

JONES, L. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p.107-147, 1967.

KILMER, V. J. Silicon. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F.E. (eds.). **Methods of soil analysis:** Chemical and microbiological properties. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 959-962.

KORNDORFER, G.H.; DATNOFF, L.E. A adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças na cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 1-5, 1995.

KORNDORFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; RODRIGUES, L.L. Effect of thermophosphate as silicon source for sugarcane. Inter-American Sugar Cane Seminar. 9-11 Sept., Miami, FL. 1998.

KORDÖRNER, G.H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa**, v. 23, n.1, p. 101-106, 1999.

KORDÖRNER, G.H.; BENEDITI, M.; PAULA, F. B.; CHAGAS, R. C. S. Cimento como fonte de silício para cana-de-açúcar . **STAB**, v.19, n. 2, p.30-32, 2000.

KORDÖRNER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**.Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004a. 25.p. (Boletim Técnico N° 01).

KORDÖRNER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício**: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi-ICIAG –UFU, 2004b. 34p. (Boletim técnico, 2)

LAWLOR, D.W. Relation between carbon and nitrogen assimilation, tissue composition and whole plant function. In: ROY, J.; GARNIER, E. (eds.). A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions. SPB Academic Publishing Co., The Hague, The Netherlands,1994

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G. de; TSAI, S. M. **O silício na agricultura**. Informações Agronômicas, n. 87, 1999. 12p. (Encarte técnico)

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. p.17-39.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1., 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Cargill, 1984. p. 03-57.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O.; OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. Efeito de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um latossolo amarelo saturado e não saturado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, Mg, v. 25, n. 1, p. 1-9, 2001.

MARSCHNER, H. **Mineral-nutrition of hig her plants**. Ed.2. New York: Academic Press, 1995. 887p.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSIOL, 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 Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 867-873, 2003.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR. G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e época de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in the soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 15, p. 339-396, 1963.

MELO, S. P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. 110f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Cooper, further elements of importance. In: MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant**. 4. ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. p. 573-588.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Baltimore, v. 29, p. 71-83, 1983.

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

NEGRÃO, L. C.; URBAN, M. L. DE P. Álcool como “commodity” internacional. *Economia & Energia*, n.47, 2005. Disponível em: ecen.com/eee47/eee47p/álcool_commodity.htm>. Acesso em 27 de mar. 2007.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. **Seja o doutor do seu canavial**. Encarte de Informações Agronômica, setembro/1994. p. 6 (Boletim Técnico 67).

OTA, M. **Studies of the utilization of slag fertilizers**. Kazama-Japão. 1964. s.p.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. DE. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1997. 87 p. (Circular, 95).

PEREIRA, J. E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto-forno**. 1978. 84f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1978.

PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, 2004.

PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M.A. C.; KORDÖRNFER, G.H. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 239-247, 2007.

PINAZZA, P. A.; ALIMANDRO, R. Cana-de-açúcar : alimento bom e doce. Agroanalysis, Rio de Janeiro, v. 23, 2003. Disponível em: <http://www.unica.com.br/pages/publicações6.asp>. Acesso em: 27 mar. 2007.

PRADO, R. M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo da acidez do solo**. 2000. 97f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Eficiência da escória de siderurgia em areia quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar. **STAB**, v.18, n. 4, 2000a

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

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. **Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v.25, n. 1, p. 201-209, 2001.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil:** estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001. 67 p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

QUAGGIO, J. A. **A acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômica, 200. 111 p.

PREEZ, P. The effect of sílica on cane growth. The South African Sugar Technologists's **Association. Proc.**p.183-188, junho, 1970.

RAID, R. N.; ANDERSON, D. L.; ULLOA, M. F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar cane. **Crop. Protection**, London, v.11, n.2, p. 84-88, 1992.

RAFI, M. M.; EPSTEIN, E.; FALK. R. H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, v. 151, p.497-501, 1997.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v. 32, n. 11, p. 223-31, 1973.

RAIJ, B van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C (coord). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2^a-ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 233-236.(Boletim técnico, 100).

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.285.

RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 58, p. 179-207, 1983.

ROSSETO, R. & DIAS, F. L. F. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões**. Encarte de Informações Agrônômica, junho/2005. p. 10 (Boletim Técnico, 110).

RUSSEL, E. W. **Soil condition and plant growth**. ed.10.Londres the New York Longman, 1976. p.849.

SANCHES, A. B. **Efeitos do silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e planta, produção e qualidade em capim-braquiarião {Brachiaria brizantha (Hoechst ex A. Rich)} Stapf.cv. Marandu sob intensidades de pastejo**. 2003. 122f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.

SAS INTITUTE (Cary, Estados Unidos). Software and services: system for Windows, versão 9.0: software. Cary, 2002.

SILVA, J.A. Plant, mineral nutrition. **Yearbook of science and technology**. McGraw Hill Book Co., Inc.1973.

SILVEIRA J, E.G.; PENATTI, C.; KORNDORFER, G.H.; CAMARGO, M.S. Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar- Usina Catanduva, Cd Rom **XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2003, Ribeirão Preto.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of sílica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. cap. 5, p. 420-433.

TAKAHASHI, E. **Uptake mode and physiological functions of sílica**. In: Science of the rice plant. Physiology Food and Agric. Policy Res Center, Tokyo, v. 2, p. 420-433, 1996.

TRANI, P. E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C. **Análise foliar: amostragem e interpretação**. Campinas, Fundação Cargill, p.18, 1983.

Única, União da Agroindústria canavieira de São Paulo. Safra 2006-2007. 2007 Disponível em: <http://www.portalunica.com.br>. Acesso em 20 de março 2007.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Calagem e uso do gesso agrícola em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3, 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1997. p. 63-111.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v. 8, p. 15-21, 1962.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of rice plant. Bulletin National Institute of Agriculture and Science, Ser. B, v. 15, p. 1-58, 1975